A. PÁLFALVI M. MEHEDINȚEANU
E. ANDREI V. NICOLAE A. BREȘTIN
S. ȘONTEA GH. FLORIGANȚĂ

Tehnologia MATERIALELOR

EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ
BUCUREȘTI — 1985

Scanned with OKEN Scanner

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI ÎNVĂȚĂMÎNTULUI

Prof. dr. ing. A. PÁLFALVI
Dr. ing. M. MEHEDINȚEANU
Conf. dr. ing. E. ANDREI
Prof. dr. ing. V. NICOLAE
Conf. dr. ing. A. BREȘTIN
Prof. dr. ing. S. ȘONTEA
Conf. dr. ing. GH. FLORIGANȚĂ

Tehnologia MATERIALELOR

EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ BUCUREȘTI

Scanned with OKEN Scanner

Manuscrisul lucrării a fost analizat și aprobat de colectivul Catedrei de Tehnologia metalelor, Consiliul profesoral al Facultății de electrotehnică, Biroul Senatului Institutului Politehnic Cluj-Napoca și de colectivul Catedrei de Tehnologia metalelor, Consiliul profesoral al Facultății de mecanică și Biroul Senatului Institutului Politehnic Iași.

Contribuția autorilor la elaborarea lucrării este următoarea:

— prof. dr. ing. **Attila Pálfalvi:** cap. 2.1, 2.2, 2.3, 3.2, 3.3, 6 și coordonarea lucrării;

— dr. ing. **Mărgărit Mehedințeanu:** cap. 7, 11.1 ...11.8;
— prof. dr. ing. **Emil Andrei:** cap. 2.4, 3.1, 3.4, 4;
— prof. dr. ing. **Vintilă Nicolae:** cap. 5.1, 5.2, 8;
— conf. dr. ing. **Aurel Breștin:** cap. 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 10;
— prof dr. ing. **Sever Șontea:** cap. 1, 9, 11.9;
— conf. dr. ing. **Gheorghe Floriganță:** cap. 1, 5.7.

Redactor: ing. IRINA TRIF
Tehnoredactor: ILINCA PROSAN
Grafician: NICOLAE SÎRBU

PREFAȚĂ

În vederea asigurării unei pregătiri teoretice și practice la nivelul cerințelor actuale și de viitor, studenții trebuie să fie înarmați cu cunoștințele tehnologice de bază privitor la materialele folosite în construcția de mașini, electrotehnică și electronică, proprietățile și domeniile de aplicare ale acestor materiale, tehnologiile de elaborare și de prelucrare a materialelor pînă la semifabricate sau produse finite, mașinile-unelte și prelucrările prin așchiere, tehnologiile de prelucrări neconvenționale, metalurgia pulberilor etc.

În lucrare sînt tratate în primul rînd problemele de bază, esențiale pentru înțelegerea fenomenelor, proceselor tehnologice, utilajelor și instalațiilor, după care se prezintă un număr mare de domenii ale tehnologiei moderne de fabricație. De asemenea sînt prezentate principalele materiale și semifabricate, respectiv produse, domeniile mai importante de aplicație și se dau numeroase exemple privind introducerea și utilizarea pe o scară din ce în ce mai largă a tehnicii și tehnologiei moderne în producție.

Se pune un mare accent pe evidențierea influenței hotărîtoare a tehnologiilor asupra ridicării calității produselor, a coeficientului de utilizare a materialelor, asupra măririi productivității muncii, concomitent cu reducerea costurilor de producție.

Prezentarea are în vedere să-l introducă pe student în elementele fundamentale ale disciplinei, obligîndu-l, totodată, la extinderea studiului individual pentru a intra în posesia cît mai multor cunoștințe în domeniile care îl interesează.

Lucrarea lasă libertatea, în același timp, cadrului didactic ca în funcție de specificul secției la care se predă

disciplina, să abordeze unele capitole mai pe larg, altele mai sumar, punînd studenții în legătură și cu direcțiile de cercetare sau cu realizările mai deosebite în domeniu pe plan național.

Prezenta lucrare este destinată studenților de la facultățile și secțiile cu profil electric, cursuri de ingineri zi și serale, însă poate fi folosită și de către specialiștii cercetători, proiectanți și din producție care lucrează în industria electrotehnică-electronică și în domeniul construcțiilor de mașini.

AUTORII

CUPRINS

Prefață 3

I. ELEMENTE DE BAZĂ

1. INTRODUCERE (S. Șontea și Gh. Floriganță) 13

1.1. *Obiectul tehnologiei* 13
1.2. *Structura sistemelor tehnologice* 13
1.3. *Factorii care influențează alegerea proceselor tehnologice* 14
1.3.1. Seria de fabricație 14
1.3.2. Precizia dimensională și calitatea suprafețelor 15
1.3.3. Nivelul standardizării și tipizării 15
1.3.4. Indicatori tehnico-economici 18
1.4. Realizări și perspective în țara noastră și pe plan mondial 18

2. METALURGIA ALIAJELOR FEROASE ȘI A METALELOR ȘI ALIAJELOR NEFEROASE 22

2.1. *Materialele întrebuințate în construcția de mașini, electrotehnică și electronică* **(A. Pálfalvi)** 22
2.1.1. Metalele și aliajele 22
2.1.2. Materialele nemetalice 24
2.2. *Metalurgia fontei brute* **(A. Pálfalvi)** 24
2.2.1. Generalități 24
2.2.2. Minereurile de fier 25
2.2.3. Prepararea minereurilor de fier 26
2.2.4. Combustibili folosiți în metalurgie 29
2.2.5. Fondanți folosiți în metalurgie 30
2.2.6. Aerul necesar în furnal 30
2.2.7. Materialele refractare 30
2.2.8. Construcția și funcționarea furnalului 31
2.2.9. Procesele fizico-chimice din furnal 33
2.2.10. Produsele furnalului și utilizarea lor 35
2.2.11. Furnale electrice 37

Scanned with OKEN Scanner

2.3. *Metalurgia oţelului* (A. Pálfalvi) 37
2.3.1. Generalităţi 37
2.3.2. Elaborarea oţelului în convertizoare clasice 38
2.3.3. Elaborarea oţelului în convertizoare cu oxigen 40
2.3.4. Elaborarea oţelului prin procedeul Martin 42
2.3.5. Elaborarea oţelului în cuptoare electrice 45
2.3.6. Procedee combinate de elaborare a oţelului 50
2.3.7. Metode de elaborare directă a oţelului 50
2.3.8. Calitatea oţelurilor în funcţie de procedeul de elaborare 50
2.3.9. Turnarea oţelului în lingotiere 51

2.4. *Caracteristici, elaborarea şi domeniile de utilizare a principalelor metale şi aliaje neferoase pentru construcţia de maşini şi electrotehnică* (E. Andrei) 55
2.4.1. Generalităţi 55
2.4.2. Metalurgia cuprului 56
2.4.3. Proprietăţile şi utilizarea cuprului; aliajele cuprului 60
2.4.4. Metalurgia aluminiului 62
2.4.5. Proprietăţile şi utilizarea aluminiului; aliajele aluminiului 64
2.4.6. Proprietăţile şi utilizarea magneziului; aliajele magneziului 65
2.4.7. Proprietăţile şi utilizarea plumbului 66
2.4.8. Proprietăţile şi utilizarea staniului 66
2.4.9. Proprietăţile şi utilizarea zincului 66
2.4.10. Proprietăţile şi utilizarea altor metale neferoase 67

3. BAZELE STUDIULUI METALELOR, STUDIUL PROPRIETĂŢILOR METALELOR ŞI ALIAJELOR, TRATAMENTE TERMICE ŞI TERMOCHIMICE, OŢELURILE CARBON ŞI CELE ALIATE 70

3.1. *Studiul proprietăţilor metalelor şi aliajelor* (E. Andrei) 70
3.1.1. Proprietăţile metalelor şi aliajelor 70
3.1.2. Încercările metalelor şi aliajelor 77

3.2. *Bazele studiului metalelor* (A. Pálfalvi) 85
3.2.1. Structura cristalină a metalelor 85
3.2.2. Solidificarea metalelor şi aliajelor 92
3.2.3. Teoria aliajelor 99
3.2.4. Aliajele fier-carbon 120

3.3. *Tratamente termice şi termochimice* (A. Pálfalvi) 134
3.3.1. Clasificarea tratamentelor termice 134
3.3.2. Recoacerea oţelurilor 136
3.3.3. Călirea şi revenirea oţelurilor 139
3.3.4. Tratamentele termochimice 148

3.4. *Oţelurile aliate* (A. Andrei) 153
3.4.1. Generalităţi şi clasificarea oţelurilor aliate 153
3.4.2. Influenţa elementelor de aliere asupra proprietăţilor oţelurilor 156
3.4.3. Oţeluri aliate de construcţie 156
3.4.4. Oţeluri aliate pentru scule 157
3.4.5. Oţeluri aliate cu proprietăţi fizice şi chimice speciale 159

Scanned with OKEN Scanner

II. TEHNOLOGII DE PRELUCRARE A METALELOR ŞI ALIAJELOR, PRECUM ŞI A MATERIALELOR NEMETALICE UTILIZATE ÎN INDUSTRIA CONSTRUCTOARE DE MAŞINI, ELECTROTEHNICĂ, ELECTRONICĂ, AUTOMATICĂ, ŞI ENERGETICĂ

4. PRELUCRĂRI DIMENSIONALE CU SCHIMBAREA STĂRII FIZICE A MATERIALELOR — EXECUTAREA PIESELOR PRIN TURNARE (E. Andrei) 161

4.1. *Turnarea pieselor metalice în forme temporare de amestec* 161

4.1.1. Probleme generale ale procesului tehnologic de turnare 161
4.1.2. Modelele de turnătorie şi construcţia lor 163
4.1.3. Materialele de formare şi prepararea amestecurilor 165
4.1.4. Formarea manuală 168
4.1.5. Formarea mecanizată 172
4.1.6. Executarea miezurilor 176
4.1.7. Uscarea formelor şi a miezurilor 177

4.2. *Elaborarea şi proprietăţile aliajelor utilizate la turnarea pieselor* 178

4.2.1. Metalele şi aliajele utilizate la turnarea pieselor de maşini 178
4.2.2. Proprietăţile de turnare ale metalelor şi aliajelor 178
4.2.3. Fontele de turnătorie 179
4.2.4. Elaborarea forntelor de turnătorie 184

4.3. *Turnarea metalului în forme* 186

4.3.1. Reţele de turnare 186
4.3.2. Asamblarea formelor 187
4.3.3. Turnarea metalului în forme 187

4.4. *Dezbaterea, curăţirea şi tratamentul termic al pieselor turnate* 188

4.4.1. Dezbaterea pieselor turnate 188
4.4.2. Îndepărtarea reţelelor de turnare 189
4.4.3. Curăţirea pieselor turnate 189
4.4.4. Tratamentul termic al pieselor turnate 192
4.4.5. Defectele pieselor turnate şi remanierea lor 193

4.5. *Metode speciale de formare şi turnare* 193

4.5.1. Generalităţi 193
4.5.2. Turnarea în forme metalice 193
4.5.3. Turnarea fontei cu crustă dură 195
4.5.4. Turnarea sub presiune 195
4.5.5. Turnarea centrifugă 197
4.5.6. Turnarea de precizie cu modele fuzibile 198
4.5.7. Turnarea în forme coji 199
4.5.8. Turnarea în forme întărite cu bioxid de carbon 200
4.5.9. Alte metode speciale de turnare şi formare 201

4.6. *Turnarea pieselor din oţel şi din aliaje neferoase* 203

4.6.1. Turnarea pieselor din oţel 203
4.6.2. Turnarea pieselor din aliaje neferoase 205

5. PRELUCRĂRI DIMENSIONALE FĂRĂ SCHIMBAREA STĂRII FIZICE, ÎN VOLUM CONSTANT — PRELUCRĂRI PRIN DEFORMARE PLASTICĂ . . . 207

5.1. *Deformarea plastică a metalelor și aliajelor* **(V. Nicolae)** . . . 207

5.1.1. Deformarea plastică a monocristalelor . . . 207
5.1.2. Deformarea plastică a agregatelor policristaline . . . 208

5.2. *Prelucrarea materialelor prin deformare plastică* **(V. Nicolae)** . . . 213

5.2.1. Elemente de teoria plasticității . . . 214
5.2.2. Legile de bază ale prelucrării prin deformare plastică . . . 216
5.2.3. Determinarea presiunilor și a lucrului mecanic de deformare . . . 219

5.3. *Prelucrarea prin laminare* **(A. Breștin)** . . . 224

5.3.1. Laminarea — considerații generale . . . 224
5.3.2. Descrierea și clasificarea laminoarelor . . . 228
5.3.3. Laminarea tablei electrotehnice . . . 232
5.3.4. Laminarea țevilor . . . 232

5.4. *Prelucrarea prin tragere și trefilare* **(A. Breștin)** . . . 234

5.4.1. Utilajul de tragere și trefilare . . . 235
5.4.2. Tragerea țevilor . . . 236

5.5. *Prelucrarea prin extrudare* **(A. Breștin)** . . . 239

5.6. *Prelucrarea prin forjare și matrițare* **(A. Breștin)** . . . 242

5.6.1. Forjarea — considerații generale . . . 242
5.6.2. Matrițarea — considerații generale . . . 252

5.7. *Prelucrarea tablelor prin forfecare și deformare plastică* **(Gh. Floriganță)** . . . 258

5.7.1. Generalități . . . 258
5.7.2. Prelucrarea tablelor prin forfecare . . . 258
5.7.3. Prelucrarea tablelor prin ștanțare . . . 263
5.7.4. Prelucrarea tablelor prin ambutisare . . . 270
5.7.5. Tehnologii moderne pentru prelucrarea tablelor . . . 279
5.7.6. Prelucrarea tablelor prin îndoire și curbare . . . 286

6. METALURGIA PULBERILOR (A. Pálfalvi) . . . 290

6.1. *Principiul fabricării materialelor și produselor sinterizate* . . . 290

6.1.1. Proprietățile materialelor sinterizate . . . 291

6.2. *Pulberi metalice* . . . 291

6.2.1. Proprietățile pulberilor metalice . . . 292
6.2.2. Elaborarea pulberilor metalice . . . 295

6.3. *Formarea în metalurgia pulberilor* . . . 300

6.3.1. Presarea pulberilor în matrițe . . . 300
6.3.2. Utilajul de presare . . . 302
6.3.3. Presarea la cald . . . 306
6.3.4. Sintermatrițarea . . . 307
6.3.5. Presarea izostatică a pulberilor . . . 307
6.3.6. Extrudarea pulberilor . . . 308
6.3.7. Laminarea pulberilor . . . 309

Scanned with OKEN Scanner

6.3.8. Turnarea în forme de ipsos 311
6.3.9. Presărarea pulberilor fără tasare 312
6.3.10. Compactizarea pulberilor prin vibrare 313
6.3.11. Proprietăţile semifabricatelor formate din pulberi metalice 314

6.4. *Sinterizarea* 316

6.4.1. Parametrii tehnologici ai sinterizării 318
6.4.2. Medii de sinterizare 319
6.4.3. Utilaje de sinterizare 321
6.4.4. Operaţiile complimentare, aplicate produselor sinterizate 323
6.4.5. Proprietăţile materialelor şi produselor sinterizate 326

6.5. *Produse ale metalurgiei pulberilor* 327

6.5.1. Cuzineţi autolubrifianţi 328
6.5.2. Filtre şi electrozi poroşi sinterizaţi 328
6.5.3. Piese sinterizate de maşini 329
6.5.4. Materiale de fricţiune 330
6.5.5. Aliaje dure sinterizate 331
6.5.6. Scule diamantate 332
6.5.7. Materiale refractare sinterizate 333
6.5.8. Contacte electrice şi perii colectoare 336
6.5.9. Materiale magnetice sinterizate 337
6.5.10. Alte produse sinterizate 338
6.5.11. Alte utilizări ale pulberilor metalice 340

7. ASAMBLAREA ŞI TĂIEREA CU ENERGII LOCALE (M. Mehedinţeanu) 342

7.1. *Asamblarea prin sudare* 342

7.1.1. Consideraţii generale 342
7.1.2. Procese metalurgice specifice îmbinării prin sudare 343
7.1.3. Structura cristalină a îmbinărilor sudate 344
7.1.4. Sudabilitatea materialelor metalice 345
7.1.5. Clasificarea procedeelor de sudare 347

7.2. *Sudarea prin topire cu energie termochimică* 347

7.2.1. Sudarea prin topire cu flacără de gaz 347
7.2.2. Sudarea prin turnare 355

7.3. *Sudarea prin topire cu energie electrică* 355

7.3.1. Formarea arcului electric în curent continuu 356
7.3.2. Formarea arcului electric în curent alternativ 358
7.3.3. Trecerea prin arc a metalului de adaos 358
7.3.4. Surse pentru sudarea electrică cu arc 359
7.3.5. Sudarea manuală cu arc electric deschis şi electrozi înveliţi 360
7.3.6. Sudarea sub strat de flux 372
7.3.7. Alte metode de sudare sub strat de flux 374
7.3.8. Sudarea cu arc sub protecţie de gaze inerte 376
7.3.9. Sudarea cu hidrogen atomic 377
7.3.10. Sudarea cu bioxid de carbon 377
7.3.11. Sudarea în baie de zgură 378
7.3.12. Sudarea prin topire cu plasmă termică 379

Scanned with OKEN Scanner

7.4. *Materiale de adaos pentru sudarea cu arc* 380
7.4.1. Rolul materialelor de adaos 380
7.4.2. Electrozii fuzibili 382
7.4.3. Fluxurile pentru sudarea electrică 385
7.5. *Sudarea prin presiune* 385
7.5.1. Sudarea prin presiune cu încălzire la flacără 385
7.5.2. Sudarea electrică prin rezistenţă 386
7.5.3. Sudarea cu încălzire prin inducţie 392
7.5.4. Sudarea cu încălzire prin frecare 393
7.5.5. Sudarea la rece 394
7.6. *Îmbunătăţirea calităţii îmbinărilor sudate. Tratamente termice* 396
7.7. *Defectele îmbinărilor sudate şi metode de identificare a acestora* 396
7.7.1. Cauze ale apariţiei defectelor de sudare 397
7.7.2. Tensiuni la sudare 397
7.7.3. Deformaţii, fisurări, ruperi 397
7.7.4. Controlul îmbinărilor sudate 398
7.8. *Asamblarea prin lipire* 400
7.8.1. Generalităţi 400
7.8.2. Lipirea moale 402
7.8.3. Lipirea tare (brazura) 408
7.8.4. Lipirea cu adezivi 414
7.9. *Tăierea metalelor cu energii locale* 415
7.9.1. Tăierea (debitarea) cu flacără oxigaz 415
7.9.2. Metode speciale de tăiere cu flacără 418
7.9.3. Tăierea cu arc electric 419
7.9.4. Procedee neconvenţionale de tăiere a metalelor 420

8. PRELUCRAREA DIMENSIONALĂ PRIN AŞCHIERE ŞI MAŞINI-UNELTE (V. Nicolae) 422
8.1. *Formarea şi îndepărtarea aşchiei* 422
8.1.1. Geometria sculelor aşchietoare 423
8.1.2. Forţa de aşchiere 424
8.1.3. Determinarea puterii motorului de antrenare 425
8.1.4. Aprecierea aşchiabilităţii materialelor 426
8.1.5. Regimul de aşchiere 426
8.1.6. Materiale pentru scule 428
8.1.7. Costul aşchierii 429
8.2. *Toleranţe şi ajustaje* 429
8.2.1. Toleranţe 430
8.2.2. Asamblări şi ajustaje 430
8.2.3. Sisteme de toleranţe şi ajustaje 432
8.2.4. Alte prescripţii de calitate 436

Scanned with OKEN Scanner

8.3. *Prelucrarea prin aşchiere şi maşini-unelte* 436
8.3.1. Prelucrarea prin strunjire. Strunguri 436
8.3.2. Prelucrarea prin rabotare. Maşini de rabotat 447
8.3.3. Prelucrarea prin frezare. Maşini de frezat 454
8.3.4. Prelucrarea prin găurire şi alezare 465
8.3.5. Prelucrarea prin rectificare. Maşini de rectificat 472
8.3.6. Prelucrarea roţilor dinţate prin rulare 480
8.3.7. Prelucrări de superfinisare 488
8.4. *Tendinţe contemporane în construcţia maşinilor-unelte* 491
8.4.1. Maşini-unelte agregat 491
8.4.2. Linii automate de maşini-unelte 492
8.4.3. Maşini-unelte cu comandă după program 492
8.4.4. Maşini-unelte tip centre de prelucrare 495

9. PRELUCRAREA DIMENSIONALĂ PRIN EROZIUNE ŞI ALTE PROCEDEE NECONVENŢIONALE (S. Şontea) 497
9.1. *Generalităţi* 497
9.2. *Prelucrarea prin eroziune electrică* 498
9.3. *Prelucrarea prin eroziune electrochimică* 507
9.4. *Prelucrarea prin eroziune abrazivo-cavitaţională în cîmp ultrasonic* 510
9.5. *Prelucrarea dimensională prin eroziune cu energii concentrate (fascicule)* 513
9.5.1. Prelucrarea prin eroziune cu plasmă 513
9.5.2. Prelucrarea prin eroziune cu radiaţii 514

10. COROZIUNEA, PROTECŢIA ANTICOROSIVĂ A MATERIALELOR METALICE (A. Breştin) 520
10.1. *Coroziunea ca proces chimic şi electrochimic al metalelor şi aliajelor* 520
10.2. *Metode de protecţie anticorosivă a metalelor* 522
10.2.1. Metode de prevenire a coroziunii 522
10.2.2. Utilizarea metalelor şi aliajelor rezistente la coroziune 523
10,2.3. Modificarea condiţiilor exterioare de lucru a pieselor 523
10.2.4. Acoperiri de protecţie cu materiale matalice şi nemetalice 523
10.2.5. Utilaje, procedee şi materiale pentru acoperiri metalice 525
10.2.6. Utilaje şi materiale folosite pentru acoperiri nemetalice (vopsiri) . . . 531

11. REGLEMENTĂRI ŞI PREVEDERI DE PROTECŢIE A MUNCII PENTRU ACTIVITĂŢI TEHNOLOGICE (S. Şontea şi M. Mehedinţeanu) 532
11.1. *Introducere* 532
11.2. *Prevederi pentru elaborarea sarjei şi turnarea în lingotiere* 533
11.3. *Prevederi pentru formarea şi turnarea în forme* 534

Scanned with OKEN Scanner

11.4. *Prevederi pentru prelucrarea prin deformare plastică la cald şi la rece a materialelor metalice* 534

11.5. *Prevederi pentru asamblarea prin sudare* 536

11.6. *Prevederi pentru prelucrarea prin aşchiere* 536

11.7. *Prevederi pentru prelucrări neconvenţionale prin eroziune cu energii concentrate* . . 537

11.8. *Prevederi pentru fabricarea produselor prin sinterizare* 538

11.9. *Protecţia mediului înconjurător* 538

Bibliografie 541

Anexa. *Lista principalelor acte normative republicane şi departamentale de protecţie a muncii* 544

Scanned with OKEN Scanner

I.

ELEMENTE DE BAZĂ

1

INTRODUCERE

1.1. OBIECTUL TEHNOLOGIEI

Tehnologia este știința aplicativă care studiază transformările la care sînt supuse materiile prime, materialele și semifabricatele prin procesul tehnologic de lucru, avînd ca scop obținerea de produse, în condiții tehnico-economice optime.

Tehnologia constituie un factor activ în dezvoltarea și perfecționarea mijloacelor de producție, în evoluția forțelor de producție. Îmbunătățirile tehnologice, ca urmare a acumulărilor cantitative obținute, produc efecte tehnico-economice pozitive, atît în progresul mijloacelor de producție, cît și a obiectului muncii, răspunzînd astfel cerințelor de satisfacere multilaterală a nevoilor materiale și spirituale ale oamenilor muncii.

O influență considerabilă asupra eficienței proceselor tehnologice o are munca inginerului, specialist cu înalte cunoștințe, prezent atît în etapa de concepție, cît și în cele de realizare, exploatare și întreținere a produselor.

1.2. STRUCTURA SISTEMELOR TEHNOLOGICE

În procesul muncii, omul acționează cu *mijloace de muncă* (utilaje, mașini de lucru, dispozitive, scule etc.) asupra *obiectelor muncii* (materiale, piese semifabricate etc. și obține *produse*. Obținerea produselor este deci rezultatul unui *proces de producție*, care înglobează toată activitatea unei întreprinderi (fig. 1.1).

Șirul de transformări, la care sînt supuse resursele naturale pentru a ajunge la produse finite, constituie *procesul tehnologic de fabricație*. Într-o primă etapă (fig. 1.2), pornind de la resursele naturale, se folosesc procese tehnologice de fabricație specifice industriei extractive. În a doua etapă (fig. 1.3), pornind de la materialele brute obținute prin extracție, *prin procese tehnologice de fabricație*, specifice industriei constructoare de mașini, se pot obține succesiv: *materiale de fabricație, semifabricate, piese* și *ansambluri*. Elementul de bază al procesului tehnologic îl constituie *operația tehnologică*, parte integrantă a procesului tehnologic de

Scanned with OKEN Scanner

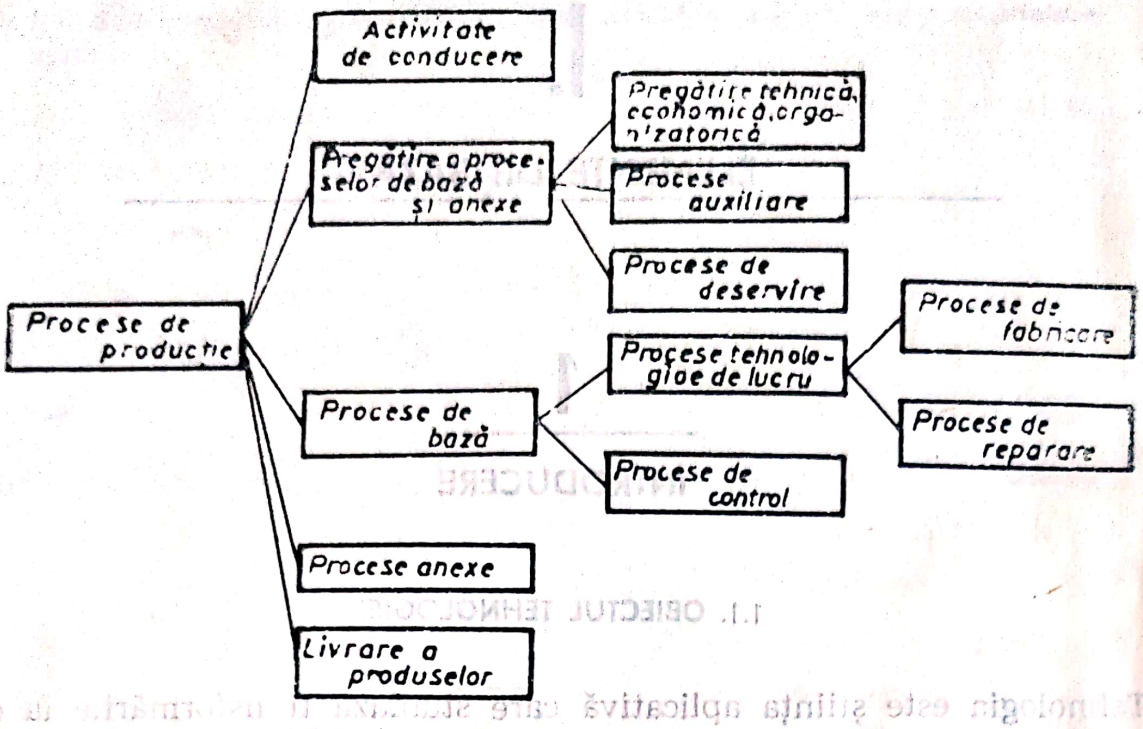


Fig. 1.1. Structura procesului de producție.

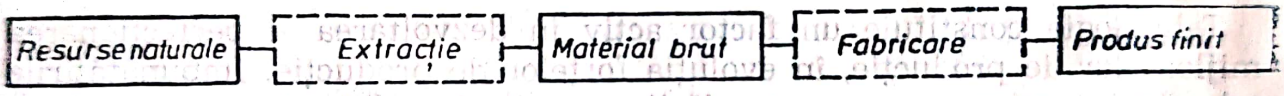


Fig. 1.2. Schema realizării produselor în industria extractivă.

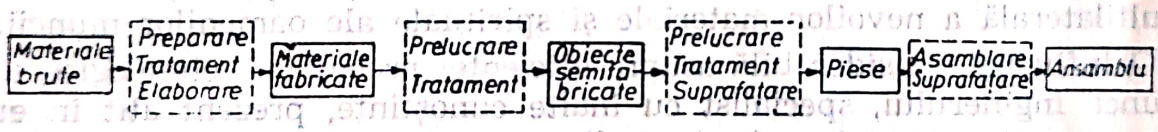


Fig. 1.3. Schema de principiu a proceselor tehnologice din industria constructoare de mașini.

lucru limitată în timp, efectuată de către unul sau mai mulți muncitori, la un singur loc de muncă, asupra unuia sau mai multor materiale sau semifabricate.

1.3. FACTORII CARE INFLUENȚEAZĂ ALEGEREA PROCESELOR TEHNOLOGICE

Principalii factori care influențează alegerea proceselor tehnologice sînt: seria de fabricație, precizia dimensională și calitatea suprafețelor, nivelul standardizării și tipizării etc.

1.3.1. Seria de fabricație

Seria de fabricație poate fi: *serie individuală* (producție de unicate), *serie mijlocie* și *producție de masă*. Influența seriei de fabricație asupra calității proceselor tehnologice este arătată în tabelul 1.1.

Tabelul 1.1

Influența seriei de fabricație asupra calității proceselor tehnologice

Factorul analizat	Producție de unicate (individuală)	Serie mijlocie	Producție de masă
Diversitatea produselor	Mare	Mijlocie	Mică
Pregătirea fabricației	Costuri mari/produs	Costuri mijlocii/produs	Costuri mici/produs
Mașini și utilaje	Universale	Specializate, speciale	Linii automate
Ciclul de fabricație	Lung	Mediu	Scurt
Productivitate	Scăzută	Medie	Mare

1.3.2. Precizia dimensională și calitatea suprafețelor

Precizia dimensională se referă la gradul de respectare a indicațiilor din documentația tehnică de proiectare, a toleranțelor privind forma, dimensiunea, poziția relativă și rugozitatea suprafeței. Datorită impreciziei sistemului tehnologic: mașină-unealtă—dispozitiv—semifabricat—sculă, în procesul tehnologic apar *erori de formă, de dimensiuni* și *de poziție*. Activitatea tuturor factorilor de decizie tinde să micșoreze erorile, de unde și interdependența (o variație hiperbolică) dintre precizia de execuție și costurile de fabricație (fig. 1.4). Decizia tehnologică privind stabilirea mărimii toleranței trebuie corelată cu precizia necesară unei bune funcționări a utilajului și costul variantei procesului tehnologic corespunzător, cunoscînd că o micșorare a toleranței de la 0,1 la 0,02 mm se obține cu o creștere relativ mică a costurilor, în timp ce o toleranță de 0,003 mm duce la o creștere de patru ori a costurilor.

Calitatea suprafețelor prelucrate se referă la abaterile de la suprafața geometrică ideală, stabilită prin documentația de execuție. Aceste abateri pot fi macroneregularități sau microneregularități, definite în noțiunea de *rugozitate*. În figura 1.5 se prezintă informativ rugozitățile pentru diverse procese tehnologice curente, cu mențiunea că o rugozitate mai redusă, adică o suprafață mai nedetă, conduce la creșterea costurilor de fabricație (vezi și capitolul 8).

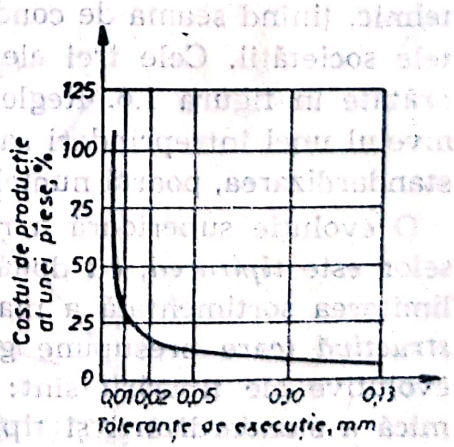


Fig. 1.4. Variația costului de producție în funcție de precizia de execuție.

1.3.3. Nivelul standardizării și tipizării

Prin *standardizare* se înțelege procesul de stabilire și aplicare a unor norme, în scopul introducerii ordinii într-un domeniu de activitate dat în interesul și cu colaborarea tuturor părților interesate, avînd în vedere promovarea progresului

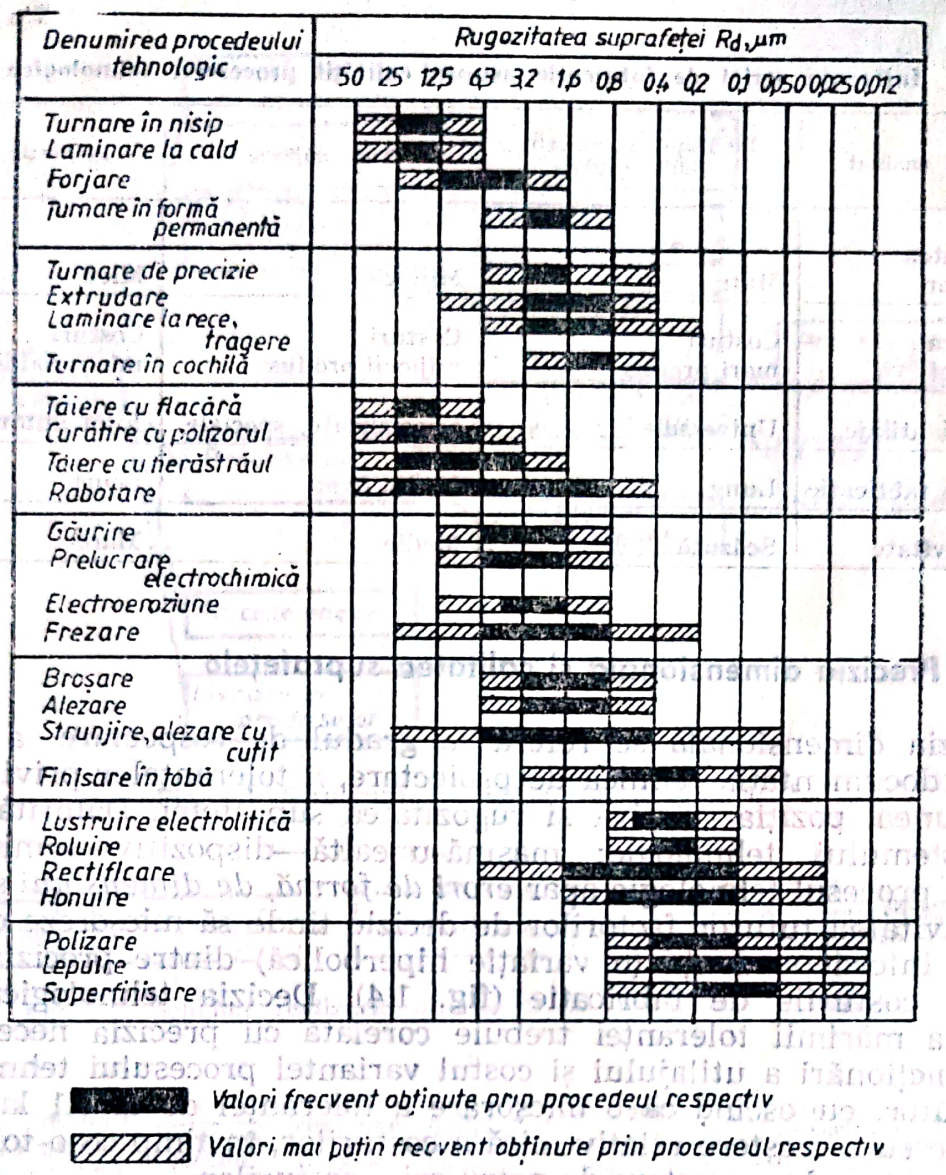


Fig. 1.5. Precizia calității suprafețelor obținute prin diferite prelucrări dimensionale.

tehnic, ținînd seama de condițiile funcționale ale produselor și de exigențele societății. Cele trei elemente care definesc sfera standardizării sînt arătate în figura 1.6. Reglementările cu privire la calitate, elaborate la nivelul unei întreprinderi sau ramuri, generate de aceeași necesitate ca și standardizarea, poartă numele de *norme* sau *norme interne*.

O evoluție superioară a reglementărilor cu privire la calitatea produselor este *tipizarea*, cu două funcții principale: *selectivă* (care determină limitarea sortimentală a mașinilor și a părților lor componente) și *constructivă* (care presupune gruparea constructivă a produselor). Formele evolutive ale tipizării sînt: simplificarea și unificarea. Eficiența economică a standardizării și tipizării este prezentată în figura 1.7, din care rezultă că, odată cu creșterea tipizării, scad costurile de producție și manopera de execuție, se îmbunătățește calitatea și fiabilitatea produselor.

Scanned with OKEN Scanner

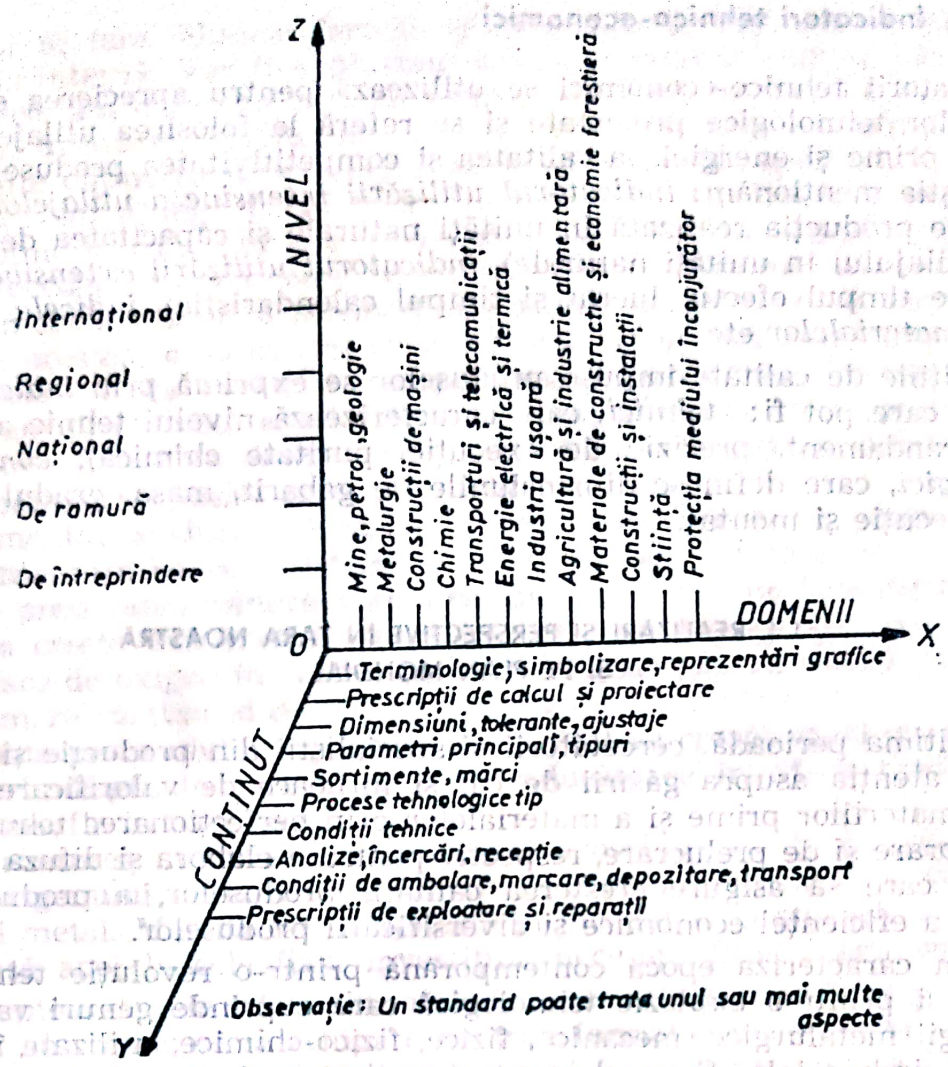


Fig. 1.6. Schema tridimensională a activității de standardizare.

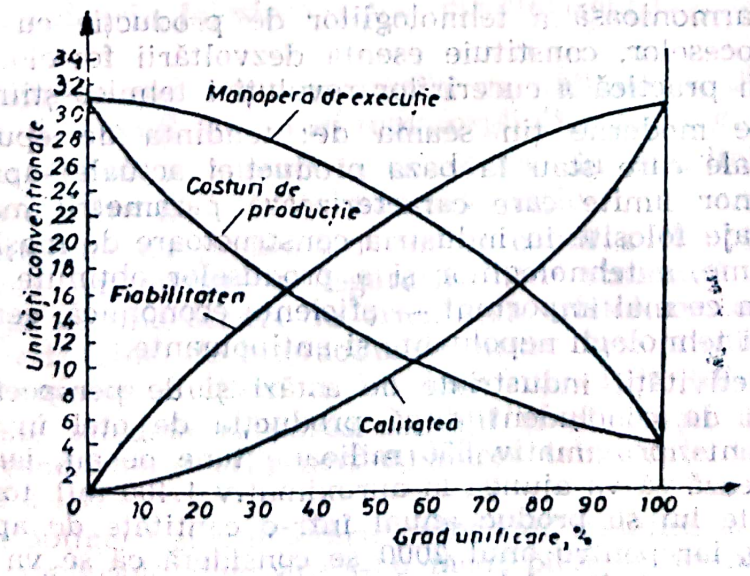


Fig. 1.7. Variația indicatorilor produselor în funcție de nivelul tipizării.

1.3.4. Indicatori tehnico-economici

Indicatorii tehnico-economici se utilizează pentru aprecierea eficienței proceselor tehnologice proiectate și se referă la folosirea utilajelor, materiilor prime și energiei, la calitatea și competitivitatea produselor. Dintre aceștia menționăm: *indicatorul utilizării intensive a utilajelor* (raportul între producția realizată în unități naturale și capacitatea de producție a utilajului în unități naturale), *indicatorul utilizării extensive* (raportul între timpul efectiv lucrat și timpul calendaristic), *indicele de utilizare a materialelor* etc.

Condițiile de calitate impuse produselor se exprimă prin *indicatorii de calitate* care pot fi: *tehnici,* care caracterizează nivelul tehnic al produsului (randament, precizie de execuție, puritate chimică); *constructiv-tehnologici,* care definesc dimensiunile de gabarit, masa, gradul de finisare, execuție și montaj.

1.4. REALIZĂRI ȘI PERSPECTIVE ÎN ȚARA NOASTRĂ ȘI PE PLAN MONDIAL

În ultima perioadă, cercetătorii și specialiștii din producție și-au concentrat atenția asupra găsirii de căi și mijloace de valorificare superioară a materiilor prime și a materialelor prin perfecționarea tehnologiilor de elaborare și de prelucrare, respectiv pentru a elabora și difuza noi tehnologii, care să asigure creșterea calității produselor, a productivității muncii, a eficienței economice și diversificării produselor.

Putem caracteriza epoca contemporană printr-o revoluție tehnico-științifică și printr-o explozie tehnologică care cuprinde genuri variate de tehnologii metalurgice, mecanice, fizice, fizico-chimice, utilizate în multe domenii industriale. S-au elaborat și aplicat metode noi de prelucrare a materialelor dure și foarte dure, a celor rezistente la temperaturi înalte, a oțelurilor inoxidabile și înalt aliate, care simplifică mult ciclul tehnologic și reduc cheltuielile de energie și de muncă, mărind totodată și fiabilitatea pieselor și a produselor.

Îmbinarea armonioasă a tehnologiilor de producție cu automatizarea conducerii proceselor, constituie esența dezvoltării forțelor de producție și aplicarea în practică a cuceririlor revoluției tehnico-științifice actuale.

Tehnologiile moderne țin seama de: tendința de epuizare a unor resurse naturale care stau la baza producției actuale; apariția mai accentuată a unor limite care caracterizează parametrii mașinilor-unelte și a altor utilaje folosite în industria constructoare de mașini; aprecierea materiilor prime, a tehnologiilor și a produselor obținute printr-un criteriu din ce în ce mai important — eficiența economică; cerința realizării unor tehnici și tehnologii nepoluante și antipoluante.

Creșterea activității industriale de astăzi și de perspectivă, o putem urmări destul de concludent după producția de oțel în lume, care a atins în prezent aproximativ 850 milioane tone pe an, iar pentru anul 2000 se estimează că va ajunge la aproximativ 1.400 mil. tone/an. Aluminiul și aliajele lui se produc anual într-o cantitate de aproximativ 20 milioane tone, iar pentru anul 2000 se consideră că se va ajunge la 36 milioane tone anual. Paralel cu aceste creșteri de producții, se perfecționează continuu și tehnologiile de elaborare și de prelucrare.

Scanned with OKEN Scanner

La noi în țară, aliajele feroase și neferoase se vor utiliza sporit din producția internă. Vor fi exploatate din ce în ce mai mult și minereurile mai sărace, așa cum sînt cele de cupru, care sînt de obicei complexe; ca exemplu, utilizarea aluviunilor titano-zirconifere și a pămînturilor rare va permite obținerea unor metale, aliaje și materiale speciale. În viitorul apropiat, vom ajunge la 20 milioane tone de oțel, din care peste 60% se va obține în convertizoare moderne, cu insuflare de oxigen, deci printr-un procedeu mai economic și cu un consum mai mic de energie. Va crește, în același timp, și producția de metale neferoase și de metale rare. Pe lîngă acestea, o sursă din ce în ce mai importantă de aprovizionare cu materiale o va constitui recuperarea și refolosirea acestora. Astfel, fierul, cuprul, plumbul și aliajele lor, se vor recupera în proporții ce vor atinge 50%. Odată cu aceasta, vor apare și se vor dezvolta noi tehnologii de recuperare, refolosire și de prelucrare.

În domeniul producerii fontelor brute, se pot consemna unele realizări importante care se vor perfecționa în continuare. Astfel: — se va perfecționa prepararea minereurilor prin peletizare; se va face clasarea cocsului; va crește temperatura aerului insuflat în furnale; se va folosi mai mult adaos de oxigen în aerul insuflat în furnale; se va reduce în proporție mai mare conținutul de sulf al fontelor.

Eficiența procesului de reducere din furnal va crește odată cu stabilirea noilor tehnologii de a produce gaze reducătoare în afara furnalului și de a le insufla la baza cuvei.

La elaborarea oțelurilor sînt realizări deosebite, ca de exemplu, insuflarea oxigenului în cuptoarele Martin în zona suprafeței de contact între zgură și metal. Metoda a fost aplicată la început la cuptoarele basculante și extinsă apoi la cele fixe, investițiile necesare fiind foarte mici.

La cuptoarele electrice din oțelării s-au mărit capacitățile. Ele sînt complet automatizate și echipate cu transformatoare de foarte mare putere care, la cuptoarele electrice cu arc de 300 t capacitate, asigură topirea încărcăturii în mai puțin de 2 ore. De asemenea, la cuptoarele cu inducție s-a îmbunătățit construcția și ele sînt echipate cu sisteme de reglaj automat a factorului de putere. La noi în țară s-au obținut rezultate deosebite prin aplicarea procedeului de retopire electrică sub zgură și prin folosirea a trei electrozi consumabili și trei cristalizatoare.

În perspectivă se continuă cercetările de obținere a oțelurilor direct din minereuri, deci realizarea unei metalurgii fără furnale.

Tot în perspectivă sînt studiile ce se fac în diferitele țări pentru folosirea directă a energiei nucleare în siderurgie.

Diferite materiale cu proprietăți noi se caută a fi obținute pe baza cunoașterii mai amănunțite a legăturii între structură și proprietăți. Pentru aceasta se ține seama de orientarea cristalelor, de imperfecțiunile rețelelor cristaline, de interacțiunea dintre faze la aliajele polifazice și de alte fenomene studiate mai intens numai în ultimii ani.

Se urmărește totodată ridicarea calității și eficienței utilizării materialelor semiconductoare prin perfecționarea tehnologiei de fabricare și de prelucrare a lor.

Tehnologia obținerii și prelucrării pulberilor metalice a dus la realizarea unor noi materiale, din care s-au făcut piese și produse utilizate în multe domenii industriale, mai ales în construcția de mașini, elctrotehnică, automatică și electronică.

Scanned with OKEN Scanner

În domeniul prelucrării materialelor prin turnare, se subliniază preocupările pentru mărirea preciziei dimensionale și de formă a pieselor turnate, pentru mărirea gradului de automatizare a tuturor instalațiilor și utilajelor folosite la turnătorii.

Un loc de perspectivă îl ocupă extinderea procedeului de turnare continuă și a celui în vid. La noi în țară sînt deja intrate în funcțiune mai multe asemenea instalații moderne.

Asamblarea prin sudare, care este frecvent folosită în tehnologiile de fabricație, a făcut progrese mari de extindere și modernizare. Gradul de mecanizare și automatizare a instalațiilor și utilajelor a crescut mult, influențînd și tehnologiile aplicate. Institutul internațional de sudură estimează pentru anul 2000 că aproximativ 50% din producția mondială de semifabricate din oțel va fi asamblată prin sudare, față de aproximativ 30% în prezent.

În domeniul prelucrării prin deformare plastică sînt folosite azi utilaje dotate cu un înalt grad de automatizare care au permis aplicarea unor tehnologii superioare. Sînt deja folosiți roboți industriali care manipulează și transportă materialele incandescente, radioactive etc. S-au luat măsuri eficiente pentru îmbunătățirea în continuare a condițiilor grele de muncă, în special la deformarea plastică la cald. Odată cu realizarea instalațiilor respective, s-a extins mult procedeul de deformare prin matrițare și extrudare.

În prelucrarea prin așchiere s-au făcut progrese serioase prin lărgirea gamei de mașini-unelte, a căror performanțe de randament și precizie de prelucrare au crescut. Pe plan mondial, precum și în țara noastră, s-au realizat numeroase tipuri de mașini-unelte automate cu comandă numerică, folosind purtători fizici de programe ușor de schimbat și de păstrat. Mașinile noi ce se realizează, au un înalt grad de tehnicitate, incluzînd comanda program și comanda adaptivă.

În cadrul ansamblului de procedee neconvenționale, utilizate, de regulă, la prelucrarea materialelor dure, s-au realizat instalații de prelucrat prin electroeroziune, cu fascicul laser, cu fascicul de electroni. Țările industrializate utilizează din ce în ce mai mult diferitele procedee neconvenționale și în special pe cel electrochimic.

Pentru viitor, în scopul creșterii productivității și preciziei de lucru, se consideră că se vor aplica și prelucrări combinate ca: laser cu ultrasunete, electroeroziune cu cel electrochimic, prelucrări clasice cu cele neconvenționale.

Industria electrotehnică, de mecanică fină, aeronautică și de automobile, vor beneficia, în special în sculării, de toate realizările specificate, pentru a obține diferite scule, matrițe de forjat sau de ambutisat, forme metalice de turnare, ștanțe etc., de înaltă calitate și precizie. Și în țara noastră, multe institute de cercetare și de învățămînt superior, care colaborează între ele, se preocupă de perfecționarea utilajelor și tehnologiilor de prelucrare neconvențională. S-a realizat astfel mașina pentru electroeroziune ELER cu comandă numerică, mașină de debavurat electrochimic, instalații de prelucrat cu laser LASEROM-1 și instalații de prelucrat cu fascicul de electroni.

Caracterul pronunțat electromecanic și electronic al utilajelor folosite în procedeele specificate, necesită cadre de înaltă calificare pentru exploatarea lor, pentru aplicarea corectă a noilor tehnologii de înaltă complexitate în prelucrarea materialelor dure, foarte rezistente la uzare, rezis-

Scanned with OKEN Scanner

tente la temperaturi și viteze mari de lucru, așa cum sînt oțelurile refractare, plăcuțele din aliaje dure sau mineralo-ceramice, materialele semiconductoare. Toate aceste materiale trebuie prelucrate fără a se distruge structura lor inițială sau a le creia tensiuni interne. Unele piese cer a fi miniaturizate sau ultraminiaturizate, cu forme complicate și toleranțe mici, care prin tehnologii bine puse la punct, trebuie să fie apoi găurite, sudate, șlefuite etc.

Desigur, în cele de mai sus, au putut fi specificate numai cîteva dintre realizările și perspectivele din domeniul tehnologiei materialelor, dar acestea permit să se formeze o imagine a multitudinii problemelor ce se pun în acest domeniu și a posibilităților nelimitate de rezolvare a lor, la care își aduc contribuția, cu deosebit succes, și specialiștii din țara noastră.

Scanned with OKEN Scanner

2

METALURGIA ALIAJELOR FEROASE ȘI A METALELOR ȘI ALIAJELOR NEFEROASE

2.1. MATERIALELE ÎNTREBUINȚATE ÎN CONSTRUCȚIA DE MAȘINI, ELECTROTEHNICĂ ȘI ELECTRONICĂ

2.1.1. Metalele și aliajele

În industria modernă constructoare de mașini, în electrotehnică și electronică și în general în tehnica actuală se utilizează pentru executarea diferitelor piese și produse, atît metalele și aliajele acestora, cît și o varietate foarte mare de materiale nemetalice. *Metalele pure* sînt folosite mai rar din cauza prețului lor mai ridicat și din cauza proprietăților lor în general mai puțin favorabile. *Aliajele* au în schimb proprietăți mecanice și tehnologice superioare metalelor pure și pot fi elaborate într-o varietate foarte mare, cu însușiri adecvate diverselor domenii de utilizare. Proprietățile aliajelor sînt determinate de compoziția lor chimică și de structura lor.

Metalele și aliajele se împart în două mari categorii, și anume: — *metale feroase* (fierul și aliajele lui ca: fontele cenușii, fontele albe, fontele maleabile, oțelurile carbon, oțelurile aliate etc.); — *metale neferoase* (cuprul, aluminiul, magneziul, zincul, plumbul, staniul, nichelul, wolframul etc. și aliajele acestora).

Din numărul foarte mare de metale (de aproximativ 70) nu toate au aceeași însemnătate și răspîndire în tehnica modernă. Dintre cele mai importante *metale tehnice* amintim: fierul, cuprul, aluminiul, zincul, plumbul, staniul, nichelul etc., care se găsesc în cantități destul de mari în scoarța Pămîntului, pot fi extrase relativ ușor din minereurile lor și prezintă o serie de proprietăți tehnologice, fizice, mecanice și chimice avantajoase. Este important de reținut că fierul și aliajele lui acoperă peste 90% din consumul mondial de metale, restul metalelor și aliajelor împreună fiind sub 10%.

Unele metale se prelucrează greu (de exemplu manganul, cromul, stibiul etc.), fiind folosite mai ales ca elemente de aliere în diferitele aliaje ale altor metale. Alte metale, în schimb, se găsesc în natură în cantități mici (de exemplu wolframul, cobaltul, molibdenul, titanul, vanadiul, reniul, niobiul etc.), fiind folosite în tehnică mai rar în stare pură. Aceste

Scanned with OKEN Scanner

metale de asemenea sînt folosite mai mult ca elemente de aliere pentru îmbunătățirea proprietăților oțelurilor, fontelor și a aliajelor neferoase.

Un *aliaj* este alcătuit dintr-un metal de bază, la care s-au adăugat cantități mai mici sau mai mari de alte elemente metalice sau nemetalice, numiți *componenți* sau *elemente de aliere*. Prin adăugarea unor elemente de aliere favorabile, uneori chiar numai în cantități mici, se pot modifica considerabil proprietățile metalelor pure, obținînd aliaje cu rezistență mecanică și duritate mai mare, cu o capacitate de prelucrare mai bună, aliaje mai rezistente la uzare, la temperaturi ridicate, aliaje care au o rezistență îmbunătățită la acțiunea mediilor corosive etc. Uneori elementele de aliere favorabile sînt prezente în metale fără ca ele să fie adăugate intenționat, provenind din minereurile naturale din care a fost elaborat metalul respectiv. De cele mai multe ori însă, metalele obținute conțin și *elemente însoțitoare nedorite*, care au o influență nefavorabilă asupra proprietăților importante din punct de vedere practic. Conținutul acestor *impurități* și elemente însoțitoare dăunătoare, trebuie redus la minimum posibil încă din timpul procesului de elaborare a aliajului respectiv, folosind metodele de rafinare cunoscute în metalurgia zilelor noastre.

Proprietățile aliajelor, pe lîngă compoziția lor chimică, depind în mare măsură și de structura lor, care se poate influența prin tratamente termice și prin alegerea și executarea corectă a diferitelor prelucrări tehnologice. Astfel alegînd corect materialul și prelucrînd corect materia primă pînă la obținerea produsului finit, există posibilitatea să se realizeze însușirile dorite, în așa fel ca produsul să corespundă tuturor cerințelor impuse, să funcționeze perfect în exploatare.

Tehnica modernă folosește *o mare varietate de materiale* cu proprietăți bine precizate conform prescripțiilor, de obicei *standardizate*. Astfel, industria constructoare de mașini, pentru a putea crea utilaje cu performanțe ridicate, care lucrează cu viteze și puteri mari pe lîngă o precizie ridicată, are nevoie de materiale metalice cu rezistență mecanică ridicată, cu rezistență foarte bună la uzare și rezistente la coroziune. Industria prelucrătoare a metalelor pentru a putea lucra cît mai productiv și mai rentabil, cere pentru sculele aşchietoare materiale capabile să lucreze la viteze de aşchiere și temperaturi mari, materiale care să asigure păstrarea tăișului cuțitelor timp îndelungat chiar și în aceste condiții grele de lucru. În construcția de cazane moderne, de motoare cu reacție și de rachete și nave cosmice, se cer materiale care trebuie să-și păstreze proprietățile necesare și la temperaturi uneori chiar foarte ridicate și să reziste la acțiunea corosivă a diferitelor medii la temperaturile de regim ale acestor mașini și instalații cu performanțe deosebite. În industria electrotehnică se cer metale de mare puritate, cu o conductivitate electrică cît mai mare, pe lîngă diverse aliaje care, din contra, trebuie să aibă o rezistivitate ridicată, necesară la fabricarea rezistoarelor sau a elementelor de încălzire din cuptoarele electrice cu rezistență. Tot în electrotehnică și electronică se folosesc diferite materiale magnetice moi sau dure, a căror varietate de asemenea trebuie să fie foarte mare. Cu totul alte materiale se cer, de exemplu, pentru periile colectoare ale mașinilor electrice, pentru filamentul tuburilor electronice sau a becurilor, sau pentru pastilele și piesele de contacte electrice ale întrerupătoarelor sau releelor, nemaivorbind de pretențiile cu totul deosebite impuse materialelor metalice folosite în industria produselor semiconductoare. Această varietate imensă de materiale metalice este în continuă și rapidă diversi-

Scanned with OKEN Scanner

ficare, pe măsură ce tehnica modernă progresează într-un ritm uimitor de rapid, pe măsură ce viața noastră ridică probleme tehnice din ce în ce mai complexe.

Alegerea materialelor ale căror proprietăți corespund cît mai bine unor condiții tehnice date, *utilizarea corectă* și valorificarea cît mai completă a posibilităților oferite de acestea, necesită o cunoaștere și înțelegere cît mai perfectă a caracteristicilor, prelucrabilității și comportării în condițiile exploatării ale materialelor în cauză. Alegerea materialelor și *stabilirea proceselor tehnologice optime de fabricație* ocupă un loc de seamă în activitatea de prioectare a inginerului constructor de mașini, instalații și aparate și în activitatea inginerului tehnolog.

2.1.2. Materialele nemetalice

În afara metalelor și a celor *cîteva mii de aliaje* cunoscute și valorificate larg în practică, în ultimul timp materialele nemetalice au început să găsească o tot mai largă și mai rentabilă întrebuințare în toate ramurile industriei moderne, în construcția de mașini, în electrotehnică, electronică, industria minieră, chimică, a construcțiilor și altele.

După natura lor chimică, materialele nemetalice se împart în două grupe mari. În grupa materialelor nemetalice *de origine organică* intră: lemnul, materialele plastice, cauciucul, pielea, hîrtia, materialele textile, fibrele sintetice, lacurile, vopselele, lubrifianții, materialele de lipit (adezivii) etc. În grupa materialelor nemetalice de *origine anorganică* intră: sticla, azbestul, mica, materialele ceramice, materialele abrazive etc.

Folosirea din ce în ce mai largă în industrie a materialelor nemetalice se explică prin necesitatea de a economisi metalele și aliajele scumpe, grele și în multe cazuri deficitare, și prin faptul că materialele nemetalice posedă o serie de proprietăți fizice, chimice, mecanice și tehnologice avantajoase în multe domenii, cum ar fi: greutate specifică redusă, rezistență la uzare și coroziune ridicată, au o conductivitate termică și electrică redusă sau pot fi folosite chiar ca materiale electroizolante, se prelucrează ușor etc.

Dintre materialele nemetalice o importanță din ce în ce mai mare dobîndesc în special *materialele plastice,* care inițial au fost utilizate ca înlocuitori ai materialelor deficitare, dar ulterior, datorită caracteristicilor deosebit de favorabile pe care le dețin, și-au cîștigat un loc important în cadrul materialelor de bază utilizate în tehnica modernă. Prin creșterea rapidă a producției de materiale plastice și a sortimentului acestora, cercetătorii, proiectanții și constructorii de mașini și instalații au toate condițiile să extindă larg utilizarea acestor materiale la construcția a tot mai multe tipuri de mașini și utilaje, ținînd seama de avantajele tehnice și economice importante ale acestor materiale.

2.2. METALURGIA FONTEI BRUTE

2.2.1. Generalități

Metalurgia se ocupă cu procedeele industriale de extragere a metalelor din minereurile metalifere și de prelucrarea ulterioară a lor, cu scopul obținerii semifabricatelor din metale și aliaje, ca lingouri, profile

Scanned with OKEN Scanner

laminate diverse, table, țevi, sîrme și altele. După natura metalelor ce se prelucrează, metalurgia se împarte în două mari ramuri: — metalurgia aliajelor feroase sau *siderurgia* și — *metalurgia metalelor și aliajelor neferoase.*

Metalurgia aliajelor feroase la rîndul ei se subdivide în:

— *siderurgia extractivă* care cuprinde procedeele de extragere a aliajelor industriale de fier din minereuri și turnarea acestora în blocuri;

— *siderurgia prelucrătoare* care cuprinde procedeele de elaborare a oțelurilor din fontele brute și de prelucrare la cald prin deformare a oțelurilor turnate inițial sub formă de lingouri, precum și turnarea semifabricatelor și pieselor din oțel și din fontă de a doua fuziune.

Aceeași împărțire se poate aplica și în metalurgia metalelor și aliajelor neferoase.

Numărul metalelor întîlnite în natură în stare liberă este foarte limitat (aurul, argintul, metalele din grupa platinei și uneori cuprul). Marea majoritate a metalelor se găsesc în natură sub formă de combinații chimice, mai mult sau mai puțin complexe, cu oxigenul, sulful, siliciul, carbonul etc., formînd *mineralele utile.* În zăcămintele naturale, *mineralele utile* sînt amestecate cu *roci sterile,* alcătuite din minerale neutile, pietroase sau pămîntoase, formînd așa-numitul *steril* sau *gangă.* Amestecul intim între mineralele utile (cu conținut de metale), mineralele neutile și gangă se numește *minereu.*

Aliajele feroase sînt aliajele fierului cu carbonul, avînd întotdeauna ca elemente însoțitoare Mn, Si, S, P etc. în proporții mai mici. Elementul principal de aliere al fierului este carbonul, care chiar în cantități mici schimbă considerabil proprietățile fierului, conținutul în carbon servind drept criteriu și la clasificarea aliajelor fier-carbon în fonte și oțeluri.

Fonta este un aliaj fier-carbon cu un conținut de carbon mai mare de 2,11%, avînd și elemente însoțitoare obișnuite ca Mn, Si, S și P în cantități limitate. Practic se folosesc fontele cu un conținut de carbon între 2,3 și 3,8%. Fonta are o temperatură de topire joasă, o fluiditate și turnabilitate bună, poate fi ușor prelucrată prin așchiere, dar este casantă și de obicei nu se poate deforma plastic nici la rece, nici la cald. Fonta brută se extrage din minereurile de fier în furnale.

Oțelul este un aliaj fier-carbon cu un conținut de carbon mai mic de 2,11% și cu un conținut redus de Mn, Si, P și S. Oțelul are o temperatură de topire ridicată, o fluiditate și turnabilitate slabă, în schimb are o rezistență mecanică, o alungire și o elasticitate mare, putînd fi deformat plastic prin laminare, forjare, trefilare etc. Oțelul se obține din fonta brută albă de afinare prin îndepărtarea carbonului suplimentar și a celorlalte elemente însoțitoare pînă la limitele admisibile pentru fiecare dintre acestea, în funcție de marca oțelului standardizat care se elaborează.

2.2.2. Minereurile de fier

Minereurile de fier conțin fierul sub formă de compuși chimici: oxizi, carbonați, sulfuri etc., amestecați cu ganga silicioasă, calcaroasă și argiloasă. Principalele minereuri de fier folosite la extragerea fontei sînt:

● **magnetita** (magnetitul Fe_3O_4 este un oxid de fier) conține 45 . . . 72% Fe, are culoare neagră, cu un slab luciu metalic, este magnetică, de unde îi vine și numele;

Scanned with OKEN Scanner

- **hematita** (hematitul Fe_2O_3 este un oxid de fier cu grad superior de oxidare) conține 45 ... 65% Fe, avînd o culoare roșie-brună, se reduce mai ușor decît magnetita;
- **siderita** (sideritul $FeCO_3$ este un carbonat de fier) conține 25 ... 45% Fe, are o culoare alb-gălbuie, se reduce ușor;
- **limonita** (limonitul $2Fe_2O_3 + 3H_2O$ este un oxid de fier hidratat) conține 25 ... 55% Fe și are o culoare maro-gălbuie sau brună, fiind ușor reductibilă;
- **pirita** (piritul FeS_2 este o sulfură de fier) conține 45 ... 60% Fe, are o culoare galbenă, aurie. Avînd un conținut inițial foarte mare de sulf (circa 30%), se prăjește, folosindu-se la fabricarea acidului sulfuric, iar cenușile de pirită rămase după prăjire, se utilizează, amestecate cu alte minereuri de fier, la extragerea fontei.

Minereurile amintite se găsesc uneori și împreună, amestecate. De asemenea pentru extragerea fierului se mai pot folosi și minereurile cu conținut ridicat de mangan: piroluzita, manganita și carbonatul de mangan.

Pentru ca extragerea fierului să fie cît mai rentabilă, minereul trebuie să fie cît mai bogat în Fe, să conțină elemente dăunătoare cît mai puține (S, P, As, Zn), să fie ușor reductibil, să se găsească în zăcăminte bogate și ușor accesibile și să aibă un cost cît mai scăzut.

2.2.3. Prepararea minereurilor de fier

Înainte de a fi introduse în furnal, minereurile se supun diferitelor operații de preparare, cu scopul de a mări conținutul de fier (îmbogățire), de a micșora consumul specific de combustibil la elaborarea metalului, de a mări randamentul furnalelor și în ansamblu de a mări rentabilitatea fabricației. La prepararea minereurilor se pot aplica diferite operații ca: sfărîmare, cernere sau clasare, brichetare, aglomerare, peletizare, îmbogățire prin sortare, spălare, separare magnetică, prăjire și altele.

Sfărîmarea sau concasarea desface într-o oarecare măsură asociațiile între mineralele utile și neutile din bulgării mai mari de minereu și caută să aducă bucățile de minereu la mărimea optimă de 50 ... 70 mm. În acest scop se folosesc concasoare cu fălci (fig. 2.1), sau concasoare cu ciocane. Falca mobilă este pusă în mișcare oscilatoare de zdrobire de către un arbore cotit (cu excentric) cu volant, iar un sistem de pene permite reglarea distanței minime între falca fixă și cea mobilă, prin care se reglează mărimea bucăților obținute după sfărîmare. Uneori se folosesc pentru sfărîmare și concasoare cu valțuri (fig. 2.2).

Cernerea sau clasarea după mărime a bucăților de minereu se realizează pe site oscilante (fig. 2.3), sau pe site rotative cilindrice, tronconice sau poligonale (fig. 2.4), care pot separa materialul concasat în două sau mai multe clase granulometrice *(a, b, c, d)*. Minereul prea mărunt este trimis la aglomerare, cel potrivit la furnale, iar bucățile prea mari merg înapoi la sfărîmare.

Brichetarea, ca și aglomerarea sau peletizarea, are ca scop transformarea minereului prea mărunt sau pulverulent în bucăți mai mari, corespunzătoare pentru a fi încărcate în furnal. Materialul, amestecat cu un liant, este brichetat de exemplu pe o instalație de brichetare cu doi

Scanned with OKEN Scanner

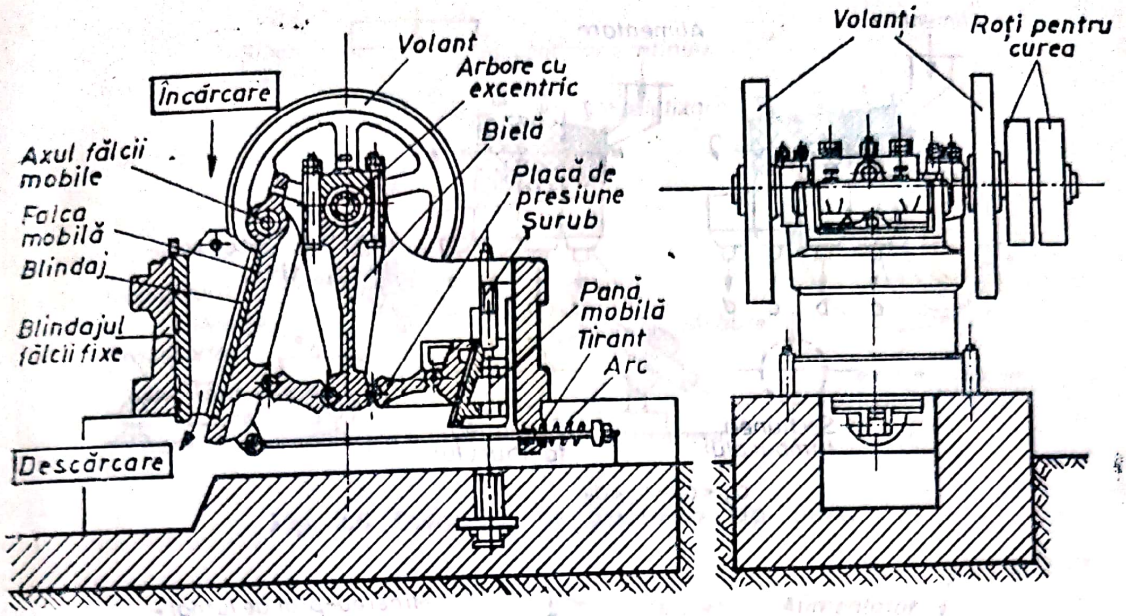


Fig. 2.1. Concasor cu fălci.

cilindri pentru obținerea brichetelor ovoidale, dar metoda este scumpă și brichetele nu au o rezistență mecanică suficientă să suporte greutatea coloanei de încărcătură solidă din furnal.

Aglomerarea la temperaturi înalte dă rezultate foarte bune. Se prepară un amestec din cinci componenți, praf de minereu, praf de furnal separat din gazele de furnal, praf de cocs, pulbere de calcar ca fondant și o cantitate corespunzătoare de apă. Stratul de amestec de pe grătarul catenar (fig. 2.5) este aprins de un arzător de gaz, arderea fiind întreținută de aerul antrenant de sus prin stratul incandescent de încărcătură cu ajutorul unui exhaustor. Din gangă și fondant se formează o zgură lipicioasă, care va cimenta bucățile mărunte de oxizi de fier în bucăți de mărime convenabilă. Prin aceeași metodă se poate obține și *aglomerat autofondant*, care conține CaO și SiO_2 tocmai în raportul necesar formării zgurei în furnal, ceea ce duce la o economie însemnată de cocs în furnal și la o scădere a volumului încărcăturii în furnal pe tona de fontă produsă.

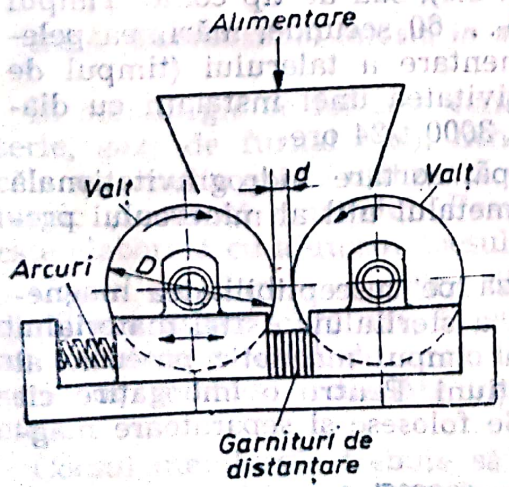


Fig. 2.2. Concasor cu valțuri.

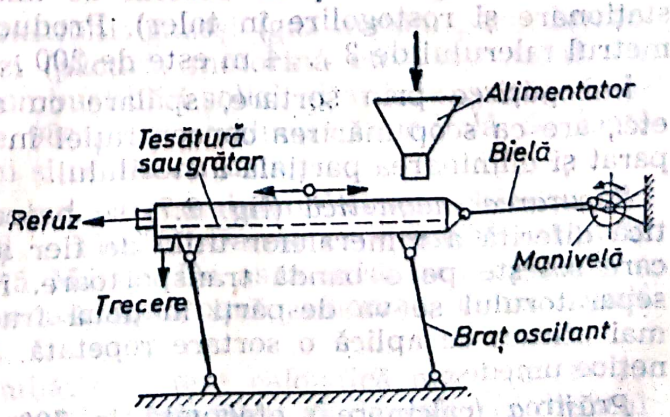


Fig. 2.3. Sită oscilantă.

Scanned with OKEN Scanner

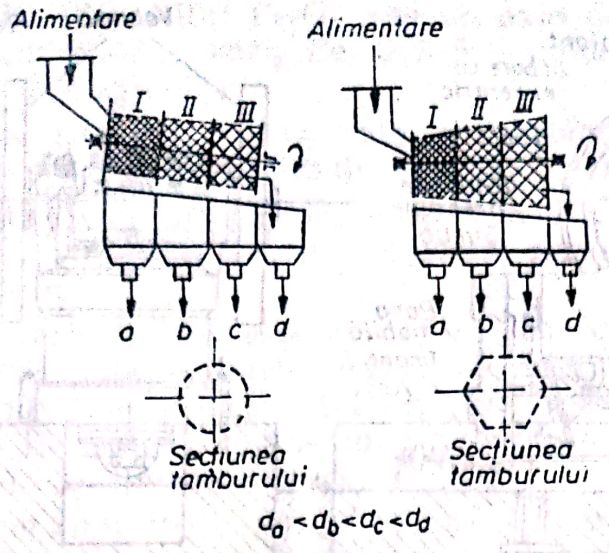


Fig. 2.4. Site rotative.

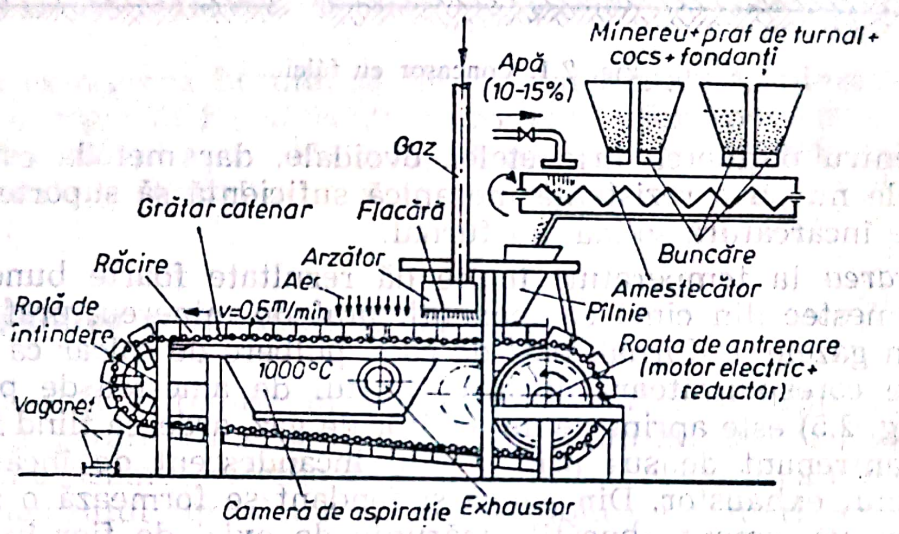


Fig. 2.5. Instalație de aglomerare a minereurilor.

Peletizarea este o metodă modernă și foarte economică de aglomerare, prin care materialele fine sau în formă de praf se transformă prin rostogolire în pelete de formă rotundă, de 15 ... 35 mm diametru. Granulatoarele pot fi de tip tambur, taler (fig. 2.6), sau de tip conic. Timpul necesar granulării este foarte scurt, de 35 ... 60 secunde, mărimea peletelor fiind reglabilă prin debitul de alimentare a talerului (timpul de staționare și rostogolire în taler). Productivitatea unei instalații cu diametrul talerului de 3 ... 4 m este de 200 ... 3000 t/24 ore.

Îmbogățirea prin sortare, spălare cu apă, sortare hidrogravitațională etc., are ca scop mărirea concentrației în metalul util al minereului preparat și eliminarea parțială a sterilului.

Separarea magnetică (fig. 2.7) se bazează pe susceptibilitatea magnetică diferită a mineralelor utile de fier și a sterilului. Astfel materialul care sosește pe o bandă transportoare, în cîmpul magnetic puternic al separatorului se va despărți în două fracțiuni. Pentru o îmbogățire cît mai eficace se aplică o sortare repetată. Se folosesc și separatoare magnetice umede.

Prăjirea (calcinarea) efectuată la 700 ... 1000°C în cuptoare rotative sau de alte tipuri, este o prăjire oxidantă. Prin eliminarea cît mai avan-

Scanned with OKEN Scanner

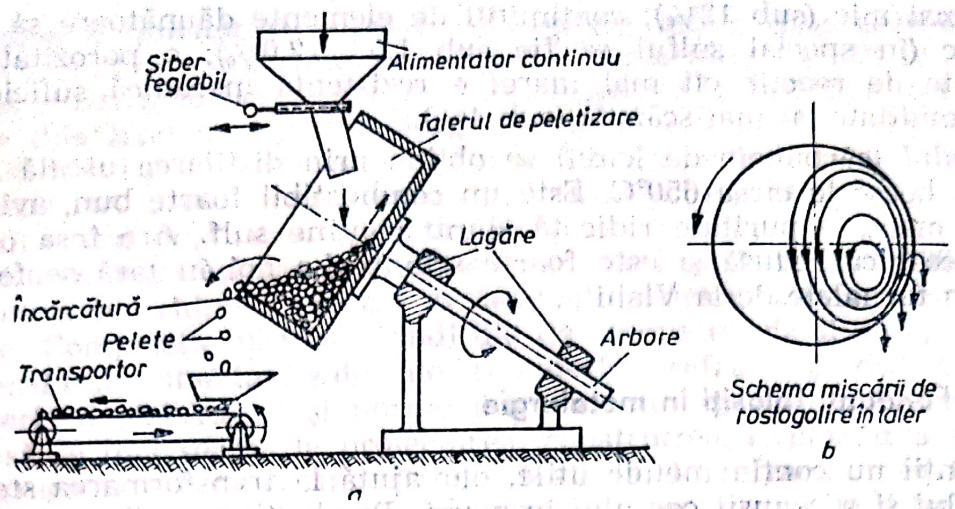


Fig. 2.6. Instalație de peletizare tip taler.

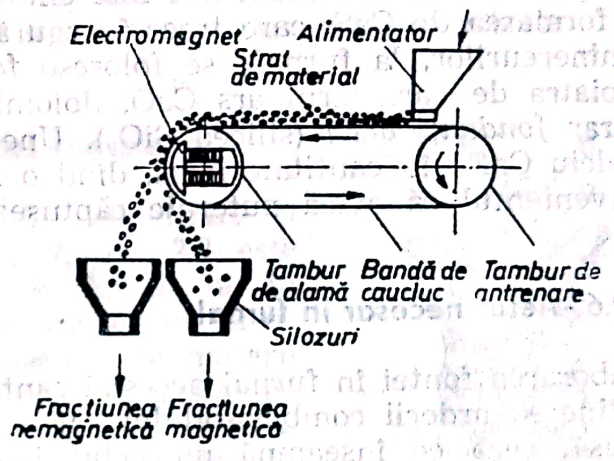


Fig. 2.7. Separator magnetic.

sată a sulfului, arsenului, stibiului, a eventualelor substanțe organice, a umidității și a apei de cristalizare, se realizează o îmbogățire în metal (fier) și totodată o mărire a porozității, a reductibilității minereului și o scădere a greutății cu 20 ... 30%, ceea ce va micșora considerabil și cheltuielile de transport.

2.2.4. Combustibili folosiți în metalurgie

În metalurgie se folosesc combustibili: gazoși (gaz metan, gaze de cocserie, gaze de furnal etc.), lichizi (păcură, motorină etc.) sau solizi. De cele mai multe ori se utilizează combustibilii solizi, și anume cocsul metalurgic și uneori mangalul. Peste 98% din producția mondială de fontă este elaborată cu ajutorul cocsului și restul cu mangal.

Cocsul metalurgic se obține din huilă în combinatele cocso-chimice prin distilarea uscată, fără aer, la 900 ... 1100°C. Gazele de cocserie rezultate au o putere calorică de circa 10,5 MJ/m³. De asemenea, se mai obțin o serie de produse secundare valoroase (gudroane, amoniac, benzen, sulf etc.).

Cocsul metalurgic trebuie să aibă: o putere calorifică mare (peste 30 MJ/kg) în așa fel ca prin ardere cu aer preîncălzit să dezvolte în dreptul gurilor de vînt o temperatură de circa 1800°C; conținutul de cenușă să

Scanned with OKEN Scanner

fie cît mai mic (sub 12%); conținutul de elemente dăunătoare să fie cît mai mic (în special sulful să fie sub 1,5 . . . 2,0%); o porozitate și o capacitate de reacție cît mai mare; o rezistență mecanică suficient de mare; umiditate cît mai scăzută (sub 4%).

Mangalul (cărbunele de lemn) se obține prin distilarea uscată a lemnului în bocșe la circa 650°C. Este un combustibil foarte bun, avînd porozitate mare, o puritate ridicată și nu conține sulf. Are însă o rezistență mecanică redusă și este foarte scump. La noi în țară se folosește numai în furnalele de la Vlahița.

2.2.5. Fondanți folosiți în metalurgie

Fondanții nu conțin metale utile, dar ajută la transformarea sterilului minereului și a cenușii cocsului în zgură. Fondanții contribuie la obținerea unei zguri fluide, care să se ridice mai ușor la suprafața băii metalice topite. Un alt rol important este eliminarea în mare parte a sulfului prin formarea de CaS, care trece în zgură. În funcție de natura sterilului minereurilor, la furnale se folosesc *fondanți bazici* (calcarul $CaCO_3$ sau piatra de var, varul ars CaO, dolomita $CaCO_3 + MgCO_3$) sau mult mai rar *fondanți acizi* (silicea SiO_2). Uneori se poate folosi și fluorura de calciu CaF_2, în cantitate mică, dînd o zgură foarte fluidă, avînd însă inconvenientul că atacă puternic căptușeala refractară a cuptorului.

2.2.6. Aerul necesar în furnal

Elaborarea fontei în furnal necesită cantități foarte mari de aer pentru întreținerea arderii combustibilului, circa 4000 m^3 aer pe tona de fontă produsă, ceea ce înseamnă un debit imens, de 3000 . . . 5000 m^3/min. Greutatea aerului insuflat este aproximativ egală cu greutatea întregii încărcături solide intrate în furnal.

Presiunea aerului este între 0,5 și 3,0 daN/cm^2 în funcție de mărimea furnalului. Aerul este furnizat de turbosuflante. *Aerul se insuflă preîncălzit* la o temperatură de 700 . . . 900°C și poate fi amestecat uneori în proporție de 25 . . . 35% cu oxigen, prin care se mărește productivitatea furnalului și se reduce consumul de combustibil. Totuși *folosirea oxigenului în furnale* în prezent este puțin răspîndită, din cauza costului ridicat. Încălzirea aerului se realizează în preîncălzitoare ceramice de tip recuperator.

2.2.7. Materialele refractare

Materialele refractare se consumă în cantități foarte mari la construirea și repararea furnalelor, cuptoarelor de cocserie, a preîncălzitoarelor de aer, a cuptoarelor din oțelării și în multe alte instalații industriale, în care se lucrează la temperaturi înalte. Ele trebuie să aibă următoarele *proprietăți:* refractaritate cît mai bună, să reziste la temperaturi înalte fără a se topi sau înmuia; rezistență la șocuri termice, la variații bruște de temperatură, la încălziri și răciri repetate; rezistență mecanică suficientă și la temperaturi înalte pentru a asigura stabilitatea formei și dimensiunilor zidăriei cuptoarelor; rezistență chimică la acțiunea meta-

Scanned with OKEN Scanner

lelor topite, a zgurilor și a gazelor de ardere sau a altor gaze cu care vine în contact la temperatura de regim a cuptorului; stabilitate a volumului, să nu-și modifice volumul și dimensiunile la încălzire sau răcire, deoarece dilatările sau contractările mai mari pot provoca deteriorarea zidăriei și bolții sau vetrei cuptorului; să fie din materii prime accesibile și să fie ieftine, deoarece se consumă în cantități mari și altfel ar încărca prea mult costul produselor metalurgice.

Clasificarea materialelor refractare este cuprinsă în STAS 130—76 și după natura lor chimică ele pot fi: acide, semiacide, neutre, semibazice și bazice. Compoziția precisă, condițiile de încercare, de livrare, formele și dimensiunile standardizate ale produselor refractare sînt cuprinse într-o serie de STAS-uri și norme interne sau departamentale, de care trebuie să se țină seama la proiectarea, construirea, exploatarea și repararea agregatelor termice industriale. Materialele refractare se livrează sub formă de *pulberi, cărămizi refractare* sau izolatoare de diferite forme și dimensiuni, sau ca *produse fasonate* cu forme speciale ca tuburi, creuzete, capace etc. La comandă specială se pot fabrica, bineînțeles, și produse cu forma, dimensiunile și cu compoziția nestandardizate.

2.2.8. Construcția și funcționarea furnalului

Fontele brute sînt obținute din minereuri în cuptorul înalt, numit *furnal*. În figura 2.8 este dată o secțiune verticală printr-un furnal, iar în figura 2.9 schema unei secții de furnale cu principalele instalații auxiliare: depozitul de materii prime, instalația de încărcare, hala de mașini cu turbosuflantele, preîncălzitoarele de aer, instalația de epurare a gazelor de furnal, coșurile etc.

Furnalul este alcătuit din 4 părți (fig. 2.8): *cuva* este partea de sus a furnalului. Are formă tronconică, care se lărgește în jos pentru a ușura coborîrea încărcăturii; *pîntecele* este o zonă cilindrică, situată între cuvă și etalaj; *etalajul* are o formă tronconică cu baza mare în sus, zidăria refractară din această zonă fiind răcită din exterior cu apă, care circulă prin serpentine sau cutii metalice de răcire; *creuzetul*, de formă cilindrică, este situat la partea de jos a furnalului, unde se acumulează fonta și zgura topită. Este partea cea mai solicitată a furnalului, care la o temperatură de 1600 . . . 1900°C trebuie să reziste la coroziunea chimică a fontei și zgurei lichide și la presiunea coloanei de încărcătură și de aer fierbinte insuflat. Pentru o răcire intensă, între zidăria refractară și mantaua metalică exterioară se introduc plăci de răcire cu apă.

Furnalul este construit dintr-o *manta de tablă* de oțel cu grosimea de 25 . . . 50 mm, nituită sau sudată și este căptușit cu o *zidărie* groasă *din cărămizi refractare*. Între manta și zidărie se găsește un strat izolator. Furnalul (cu o greutate de 10—

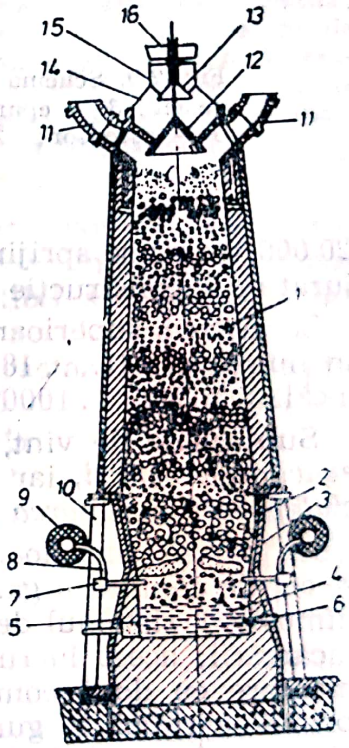


Fig. 2.8. Secțiune verticală printr-un furnal încărcat. 1-cuva; 2-pîntece 3-etalaj 4-creuzet; 5-orificiu pentru fontă; 6-orificiu pentrn zgură; 7-guri de vînt 8-racord; 9-conductă inelară izolată; 10-coloane; 11-conducte pentru gaze; 12-conul mare; 13-conul mic; 14-pîlnia conului mare; 15-pîlnia conului mic; 16-jgheab de umplere de la schipuri.

Scanned with OKEN Scanner

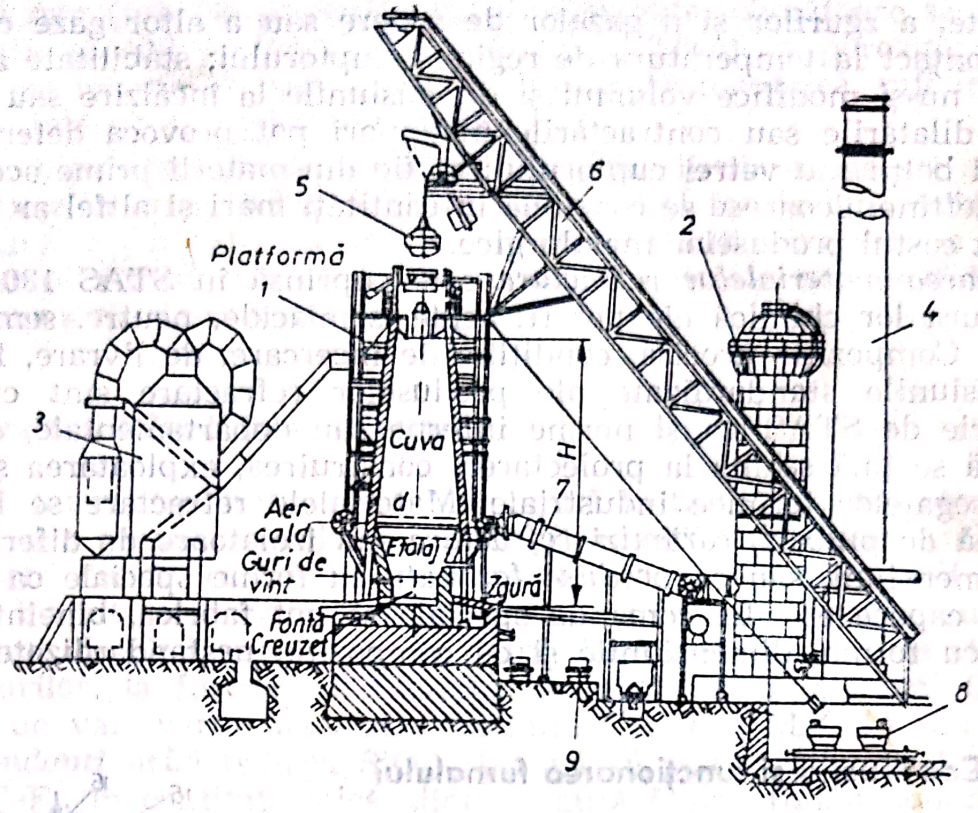


Fig. 2.9. Schema unei secții de furnale: *1* — furnalul; *2* — preîncălzitor de aer; *3* — epuratoare de gaz; *4* — coș; *5* — instalație de încărcare; *6* — ascensor; *7* — conductă de aer cald; *8* — oală de încărcare; *9* — vagon cu oală pentru zgură.

20 000 tone!) se sprijină pe o *fundație* deosebit de puternică și este înconjurat de o construcție metalică.

La partea superioară a creuzetului se găsesc instalate *gurile de vînt* în număr de 10 . . . 18, prin care se introduce aerul necesar arderii, preîncălzit la 700 . . . 1000°C.

Sub gurile de vînt, în peretele creuzetului, se găsește *orificiul pentru evacuarea zgurei*, iar la partea inferioară a creuzetului se găsește *orificiul pentru evacuarea fontei*.

La partea superioară a furnalului se află *dispozitivul de alimentare* și cel de captare a gazelor. Pentru ca gazul de furnal să nu se piardă în atmosferă, sistemul de încărcare trebuie să asigure etanșeitatea în timpul încărcării; acest lucru se realizează prin folosirea dispozitivului de alimentare cu două conuri (fig. 2.8). Încărcătura din depozitul de materii prime se ridică la gura furnalului cu ajutorul a două *schipuri* cu funcționare alternativă și se descarcă în pîlnia conului mic. Prin coborîrea conului mic, încărcătura cade în pîlnia conului mare, de unde apoi prin coborîrea conului mare, se descarcă în furnal. Prin deschiderea numai alternativă a conurilor mobile, se asigură alimentarea continuă a furnalului în plină funcționare, cu scăpări minime de gaze.

Cîteva *date importante:* înălțimea totală a unui furnal modern este de 28 . . . 34 m, diametrul pîntecelui 7 . . . 10 m, volumul util 700 m^3 (Reșița) . . . 1700 m^3 (Galați), productivitatea 1,2 . . . 1,8 t fontă produsă în 24 ore pe fiecare m^3 volum util, producția pe 24 ore a unui furnal modern poate ajunge peste 3000 t fontă, iar pe an la cantitatea impresionantă de peste un milion de tone fontă brută.

Scanned with OKEN Scanner

Preîncălzitoarele de aer (cauperele) realizează preîncălzirea aerului pe seama arderii unei părți a gazelor de furnal ce se captează la partea superioară a furnalului. Un cauper modern (fig. 2.10) este format dintr-o manta cilindrică din tablă de oțel, cu diametrul de 6...8 m și înălțimea de 25...40 m, căptușită cu cărămizi refractare. Secțiunea circulară a cauperului este împărțită în două: camera de ardere și camera recuperatoare de căldură, alcătuită dintr-un grilaj de zidărie refractară, ce formează un sistem complex de canale.

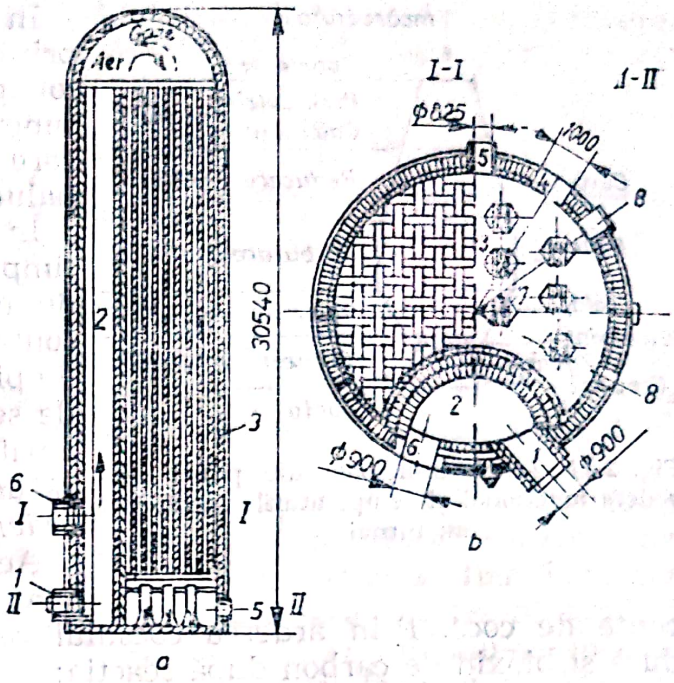


Fig. 2.10. Preîncălzitor cu aer; *a* — secțiune verticală; *b* — secțiune transversală mărită; *1* — intrare gaz-combustibil; *2* — cameră de ardere; *3* — grilajul refractar; *4* — gură de evacuare a gazelor arse; *5* — intrare aer rece de la turbosuflante; *6* — ieșire aer cald spre furnal; *7* — suporții grilajului.

Gazele de furnal, epurate de praf, intră în partea inferioară a camerei de ardere împreună cu aerul necesar și se ard. Gazele de ardere se ridică în sus, se lovesc de bolta cauperului și coboară prin canalele camerei recuperatoare, cedînd zidăriei refractare o bună parte a căldurii lor fizice, iar apoi ies spre coș. După ce astfel zidăria refractară a cauperului s-a încălzit la circa 900...1100°C, se închide intrarea gazului combustibil și a aerului, iar prin cauperul fierbinte se va trece în sens invers aerul rece de la turbosuflante, care, traversînd sistemul de canale refractare incandescente a cauperului, se încălzește la temperatura de 700...1000°C. Deoarece perioada de încălzire a cauperului este dublă față de cea de răcire, concomitent trebuie să lucreze trei caupere, dintre care unul se găsește în funcționare (răcire), iar celelalte două în încălzire, schimbarea lor făcîndu-se la anumite intervale (circa o oră) prin permutare circulară. De obicei un furnal este prevăzut cu 5 caupere: 3 lucrează, unul se află în revizie sau reparație capitală și unul, gata pus la punct poate intra oricînd în locul celui care trebuie scos din funcțiune.

2.2.9. Procesele fizico-chimice din furnal

Furnalul este un cuptor vertical cu cuvă cu funcționare continuă pe principiul contracurentului. Durata dintre două reparații capitale este între 6 și 12 ani. În tot timpul funcționării, furnalul este plin cu materiale solide, lichide și gazoase. Straturile de minereu, cocs și fondanți, încărcate continuu în furnal pe la partea superioară, coboară încet în jos, ajungînd în zone din ce în ce mai calde, formînd *curentul descendent*, iar în sens invers se deplasează gazele fierbinți, care se ridică în sus, formînd *curentul ascendent*.

Scanned with OKEN Scanner

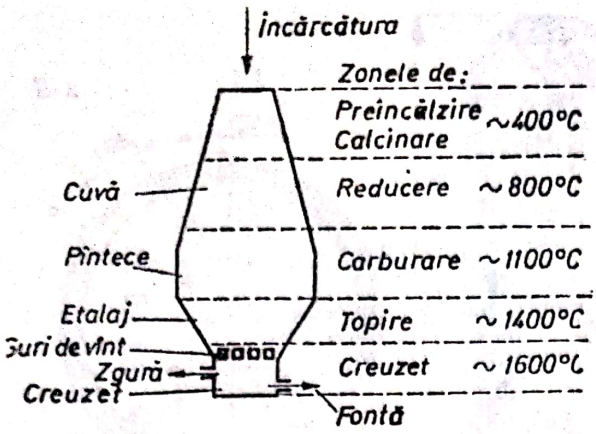


Fig. 2.11. Zonele principale din punct de vedere funcțional și temperaturile medii la un furnal.

În figura 2.11 este dată o secțiune printr-un furnal, cu indicarea zonelor principale din punct de vedere funcțional și temperaturile medii, care domină în aceste zone ale furnalului.

În furnal încărcătura solidă, în timp ce coboară lent, suferă o serie de modificări fizico-chimice, iar fonta și zgura, obținute sub formă de picături, se scurg spre creuzet unde se adună. Pentru a înțelege principalele procese care au loc în furnal, să urmărim prima dată *curentul ascedent de gaze.*

Aerul cald insuflat prin gurile de vînt întîlnește bucățile incandescente de cocs. Prin arderea cocsului rezultă o mare cantitate de căldură și bioxid de carbon după reacția:

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 + 409\,600 \text{ J/mol},$$

iar temperatura urcă la circa 1900°C. Bioxidul de carbon cald începe să se ridice în sus, cedînd căldură straturilor superioare. Concomitent, întîlnind bucăți de cocs incandescent, conform reacției Boudouard se transformă în oxid de carbon:

$$CO_2 + C \rightarrow 2CO - 156\,700 \text{ J/mol},$$

care va reduce oxizii de fier din minereu conform reacțiilor de mai jos, în urma cărora se obține din nou bioxid de carbon. Acest ciclu de regenerare a oxidului de carbon prin reacția Boudouard și consumarea lui pentru reducerea minereurilor și obținerea fierului redus, se repetă de cîteva ori, în timp ce gazele ajung pînă la partea superioară a furnalului.

Vaporii de apă care intră împreună cu aerul cald prin gurile de vînt, precum și apa higroscopică (umezeala) și cea de constituție, conținută de materiile prime, la temperaturile ridicate din furnal sînt descompuse de către carbonul incandescent după reacția:

$$2H_2O + 2C \rightarrow 2H_2 + 2CO - 233\,070 \text{ J/mol},$$

obținînd doi agenți reducători activi, hidrogenul și oxidul de carbon.

Curentul descendent de material solid ajungînd în zone din ce în ce mai calde, minereurile se preîncălzesc și tot în *prima zonă de preîncălzire* se reduc, respectiv se descompun pînă la FeO conform reacțiilor:

a) hematita se reduce: $Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2FeO + CO_2$;

b) magnetita se reduce: $Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3FeO + CO_2$;

c) siderita se descompune: $FeCO_3 \rightarrow FeO + CO_2$.

Oxizii superiori de fier se reduc pînă la fier metalic treptat, trecînd prin toate fazele intermediare conform seriei:

$$Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow FeO \rightarrow Fe.$$

Scanned with OKEN Scanner

În zona de reducere, la o temperatură mai ridicată, are loc reducerea oxizilor de fier pînă la fier metalic pe două căi: fie cu ajutorul carbonului prin reacții de *reducere directă:*

$$FeO + C \rightarrow Fe + CO - 144\,250 \text{ J/mol},$$

fie cu ajutorul oxidului de carbon prin reacții de *reducere indirectă:*

$$FeO + CO \rightarrow Fe + CO_2 + 13\,610 \text{ J/mol}.$$

Reducerea indirectă este exotermă și este preponderentă în furnal.

Prin reducerea minereurilor în zonele de sus ale furnalului se obține fierul metalic sub formă spongioasă, numit *„burete de fier"*, care neconținînd carbon încă, are o temperatură de topire foarte ridicată, de circa 1500°C.

În *zona de carburare*, cu temperatura medie de 1100°C, buretele de fier solid se îmbogățește din ce în ce mai mult în carbon, care se combină chimic cu fierul dînd Fe_3C și se dizolvă și direct în fier. Prin carburarea fierului, acesta se transformă în fontă, care are temperaturi de topire mult mai scăzute (la 4,3% C de 1147°C) și topindu-se în *zona de topire* a furnalului, cade sub formă de picături în creuzet. Reacțiile de carburare de asemenea pot fi de două feluri:

— carburare indirectă: $3Fe + 2CO \rightarrow Fe_3C + CO_2$;
— carburare directă: $3Fe + C \rightarrow Fe_3C$.

Paralel cu procesul, descris sumar, al reducerii și carburării fierului, în furnal mai au loc o serie de alte procese fizico-chimice legate de reducerea manganului, siliciului, fosforului etc. și de formarea diferiților compuși chimici, unii chiar volatili, prin care fonta obținută se va îmbogăți într-o oarecare măsură în elemente însoțitoare cu Mn, Si, P, S etc., iar substanțele insolubile în fontă împreună cu ganga, cu fondanții și cu cenușa rămasă după arderea cocsului vor intra în zgură.

2.2.10. Produsele furnalului și utilizarea lor

Produsul principal al furnalului este fonta brută sau fonta de primă fuziune. După spargerea dopului, fonta (respectiv zgura) se scurge prin jghiaburi căptușite cu material refractar în oalele de transport, separate, montate pe vagoane de cale ferată speciale.

În combinatele siderurgice fonta brută de afinare de obicei se depozitează în stare lichidă în melanjoarele oțelăriei. *Melanjorul* este un recipient metalic special, de formă cilindrică (fig. 2.12), căptușit cu material refractar, avînd capacitatea pînă la 2000 t de fontă lichidă. Melanjorul servește ca un rezervor tampon de fontă lichidă, care să acopere oscilațiile în producția de fontă în furnale și consumul de fontă de către oțelărie, eventualele nepotriviri între producție și consum datorită

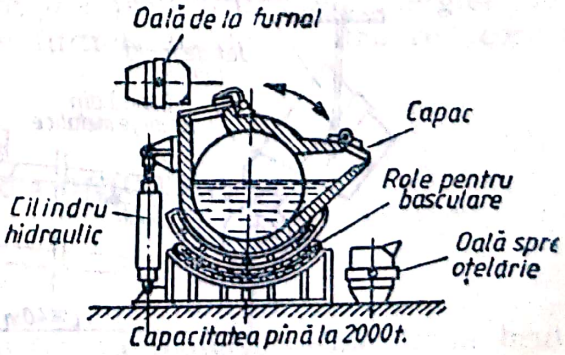


Fig. 2.12. Melanjor pentru păstrarea fontei brute în stare lichidă.

Scanned with OKEN Scanner

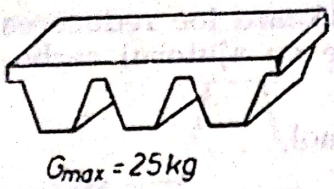


Fig. 2.13. Bloc (lingou) de fontă cu crestături.

unor deranjamente sau stagnări ale agregatelor siderurgice etc. În același timp în melanjor se realizează o amestecare și omogenizare a diferitelor șarje de fontă brută și se continuă procesul de desulfurare în vederea îmbunătățirii calității materiei prime care intră în oțelărie. Încălzirea melanjorului se face cu gaze de cocserie, gaze de furnal, păcură etc. Pentru descărcare, melanjorul este basculat cu ajutorul unui mecanism hidraulic.

Fonta brută pentru turnătorie se toarnă în forme metalice pentru a solidifica sub formă de blocuri mici (calupuri) cu crestături (fig. 2.13) cu greutatea maximă de 25 kg. Turnarea se execută de obicei pe *mașini de turnat* cu bandă transportoare alcătuită din formele metalice (lingotierele), în care se toarnă fonta lichidă în jet continuu (fig. 2.14). Banda înaintează cu viteză constantă, blocurile se solidifică (pentru accelerarea răcirii pe parcurs sînt stropite cu apă), iar la capătul instalației blocurile sînt descărcate direct în vagoanele metalice de cale ferată.

Fontele brute după utilizare pot fi împărțite în trei categorii: *a* — *fontele pentru turnătorie* sînt fonte cenușii, cu mult siliciu, care reprezintă circa 15% din producția de fonte brute, și sînt folosite după o a doua topire pentru turnarea pieselor de mașini și a altor obiecte de fontă;

b — *fontele pentru afinare* sînt fonte albe, cu mult mangan, care reprezintă circa 80% din producția de fonte brute și sînt folosite ca materie primă la fabricarea oțelurilor;

c — *fontele aliate și speciale* care reprezintă circa 5% din producția de fonte brute, pot fi cu conținut ridicat de mangan (5 . . . 25%), numite fonte oglindă, — cu conținut ridicat de siliciu și mangan, numite fonte silicioase oglindă. Dacă procentajele de siliciu sau mangan întrec 25%, aliajele ce se obțin se numesc feroaliaje, respectiv ferosiliciu și feromangan. Aceste calități de fonte sînt folosite ca adaos pentru dezoxidare, sau aliere la elaborarea oțelurilor.

La noi în țară fontele de primă fuziune sînt standardizate în STAS 882—78, fiind clasificate în fonte brute nealiate cu Si și Mn pînă la 5% fiecare, și fonte brute aliate cu siliciu și mangan peste 5% fiecare. Clasificarea și notarea acestor fonte conform STAS se face în felul următor:

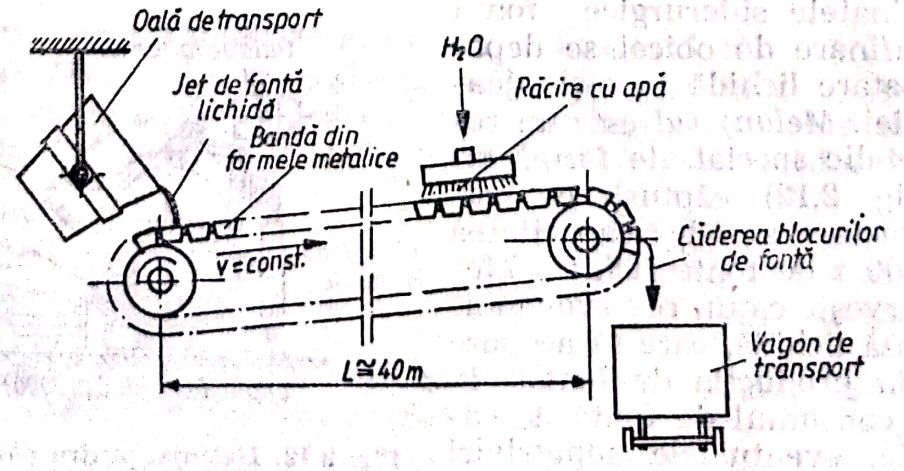


Fig. 2.14. Instalație de turnat fonta în blocuri, cu bandă transportoare.

Scanned with OKEN Scanner

1 — fonte brute nealiate cu 3 grupe: *a* — obișnuite pentru turnătorie (FK); *b* — fonte speciale pentru turnătorie (FX); *c* — fonte pentru afinare (FAK);

2 — fonte brute aliate tot cu 3 grupe: *a* — fonte silicioase (FS); *b* — fonte oglindă (FOg); *c* — fonte silicioase oglindă (FSOg).

În furnale se mai pot elabora și fonte speciale aliate cu Cr, Ni, V, Ti etc., prin utilizarea unor minereuri, sau amestecuri de minereuri, care conțin pe lîngă Fe și aceste elemente.

În furnal, în afara produsului principal — fonta brută, se mai obțin ca produse secundare gazul de furnal, praful de furnal și zgura.

Gazul de furnal, captat la partea superioară a furnalului, are o putere calorifică relativ mică de numai circa 4,2 MJ/m³, dar cantitatea acestor gaze este deosebit de mare, de 4000 . . . 4500 m³ pe fiecare tonă de fontă produsă. Pentru comparație este bine să reamintim aici că gazele de cocserie au circa 10,5 MJ/m³, gazul metan circa 35,6 MJ/m³, iar acetilena folosită la sudare are circa 56,5 MJ/m³. La ieșirea din furnal, gazul are 150 . . . 300°C și antrenează o mare cantitate de praf (30 . . . 80 g/m³ de gaz). O parte din aceste gaze (circa 30%), se utilizează în caupere pentru preîncălzirea aerului insuflat în furnal, iar restul ca și combustibil în diferite cuptoare metalurgice etc.

Praful de furnal captat în instalațiile complexe de epurare a gazelor de furnal conține mult fier și carbon, constînd din praf de minereuri, de cocs și de fondanți. Cantitatea de praf de furnal fiind mare, circa 80 . . . 100 kg pe fiecare tonă de fontă produsă, reprezintă o valoare însemnată și este recuperată prin aglomerare sau peletizare și reintrodusă în furnal.

Zgura în ultimii ani nu se mai consideră ca un balast, ci este valorificată. Zgura acidă de furnal se utilizează pentru fabricarea materialelor termoizolante, ca vata de zgură, zgura expandată etc. Zgura bazică de furnal se utilizează ca materie primă suplimentară la fabricarea cimentului, sau ca înlocuitor al materialelor de construcție (zgură granulată, cărămizi de zgură, pietriș pentru prepararea betonului etc.), o parte putînd fi utilizată și la fabricarea îngrășămintelor pentru agricultură.

2.2.11. Furnale electrice

Furnalele electrice sînt folosite în țările care dispun de minereuri bogate și de energie electrică ieftină (Norvegia, Suedia, Italia, Japonia etc.). Căldura necesară desfășurării proceselor fizico-chimice de elaborare a fontei din minereuri, se obține prin utilizarea energiei electrice. Carbonul este folosit în aceste furnale numai pentru reducere și carburare.

2.3. METALURGIA OȚELULUI

2.3.1. Generalități

Pentru elaborarea oțelului se folosesc ca materii prime fonta brută albă de afinare și fierul vechi. În timpul elaborării prin *afinare* trebuie micșorat în primul rînd conținutul de carbon și redus procentajul de

Scanned with OKEN Scanner

elemente însoțitoare la limitele admise în oțelurile elaborate, iar apoi prin dezoxidare și aliere se continuă eliminarea elementelor dăunătoare, a gazelor și a incluziunilor nemetalice, realizînd totodată compoziția prescrisă a mărcii respective de oțel. Procesele principale sînt procese de oxidare. Produsele oxidării elementelor nedorite trec în zgură sub formă de silicați sau alți compuși, sau se evacuează din cuptor sub formă de gaze sau vapori (CO, CO_2 etc.).

Zgura are un rol foarte important în procesul de elaborare al oțelului, influențînd direct toate procesele fizico-chimice care au loc. Cu cît zgura are o bazicitate mai mare, cu atît se poate realiza o îndepărtare mai avansată a sulfului și fosforului dăunător din baia lichidă de oțel.

La aliajele Fe-C temperatura de topire crește odată cu scăderea conținutului de carbon, astfel încît în timpul elaborării oțelului, temperatura băii metalice trebuie să crească de la 1150 ... 1200°C (temperatura de topire a fontelor) la 1550 ... 1600°C, deci peste temperatura de topire a oțelurilor.

În prezent oțelul se elaborează prin patru procedee: prin suflare de aer sau oxigen în convertizoare; în cuptoare cu flacără după procedeul Martin acid sau bazic; în cuptoare electrice; în cuptoare cu creuzet (metodă aplicată foarte rar).

2.3.2. Elaborarea oțelului în convertizoare clasice

Convertizorul este un agregat în care are loc elaborarea oțelului prin afinarea fontei lichide cu aer. Aerul suflat prin masa topită de fontă de afinare oxidează carbonul și elementele însoțitoare, iar prin reacțiile exoterme de oxidare a impurităților se dezvoltă căldura necesară pentru ridicarea temperaturii băii metalice de la 1200 ... 1300°C la 1600 ... ... 1650°C (temperatura oțelului lichid) și căldura necesară pentru realizarea tuturor proceselor necesare în cursul elaborării oțelului, nefiind nevoie astfel de folosirea vreunui combustibil separat. De asemenea agită puternic baia metalică, prin care afinarea are loc rapid, obținîndu-se o șarjă de oțel foarte uniformă. Procedeul de elaborare în convertizor a fost inventat în anul 1855 de Bessemer (metoda acidă), iar în 1879 Thomas a introdus căptușeala bazică, care permite afinarea și a fontelor fosforoase.

Construcția convertizorului clasic este prezentată în figura 2.15. Convertizorul are formă de pară, fiind din tablă de oțel căptușit cu material refractar acid la convertizorul Bessemer, sau bazic la convertizorul Thomas. Pe manta este un inel puternic de oțel cu două fusuri, prin care întregul convertizor se sprijină pe lagărele celor doi stîlpi. Pe unul din fusuri este o roată dințată în angrenare cu o cremalieră acționată de sistemul hidraulic cilindru-piston. Astfel convertizorul poate fi rotit și basculat pentru a fi umplut cu fontă lichidă (fig. 2.16, *a*), adus în poziția de lucru (fig. 2.16, *b*), sau înclinat pentru evacuarea zgurei și oțelului (fig. 2.16, *c* și *d*). Celălalt fus este tubular pentru a permite aducerea aerului de la suflantă la cutia de aer, de unde va fi suflat prin baia metalică. În acest scop, în partea inferioară, convertizorul este străbătut de un număr foarte mare de canale de diametru mic (10 ... 20 mm). Presiunea aerului este de 1,5 ... 3 daN/cm². Capacitatea convertizoarelor clasice este de 20 ... 60 t.

Elaborarea oțelului în convertizorul acid (Bessemer). În convertizorul preîncălzit la circa 900°C se introduce fonta brută de afinare lichidă cu

Scanned with OKEN Scanner

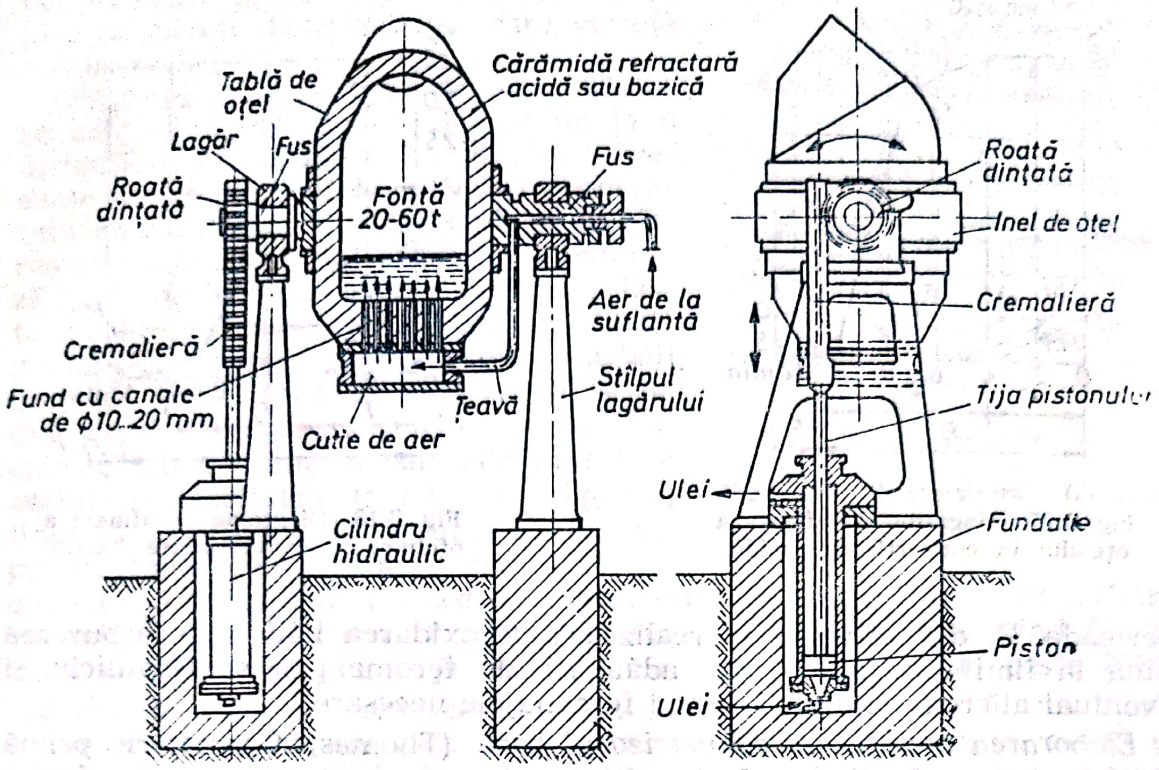


Fig. 2.15. Convertizorul clasic.

mult siliciu (0,9 . . . 1,6%) și mangan și cu conținut mic de S și P (care nu pot fi eliminate datorită căptușelii acide). Conținutul de carbon nu se limitează.

Procesele de afinare în convertizoare se produc cu viteză mare, astfel încît durata elaborării unei șarje este de numai 12 . . . 18 min. Așa cum rezultă din diagrama de afinare a convertizorului acid (fig. 2.17), în perioada de afinare P_1, la început are loc oxidarea siliciului și manganului (faza F_1) și formarea unei cantități mici de zgură. Carbonul încă nu se oxidează, deoarece baia este încă relativ rece. În faza F_2 are loc decarburarea cu viteză mare, iar degajarea de CO produce o fierbere puternică a băii metalice, prin care se ajută eliminarea gazelor (N_2, H_2) și a incluziunilor nemetalice din baie. În ultima perioadă a elaborării,

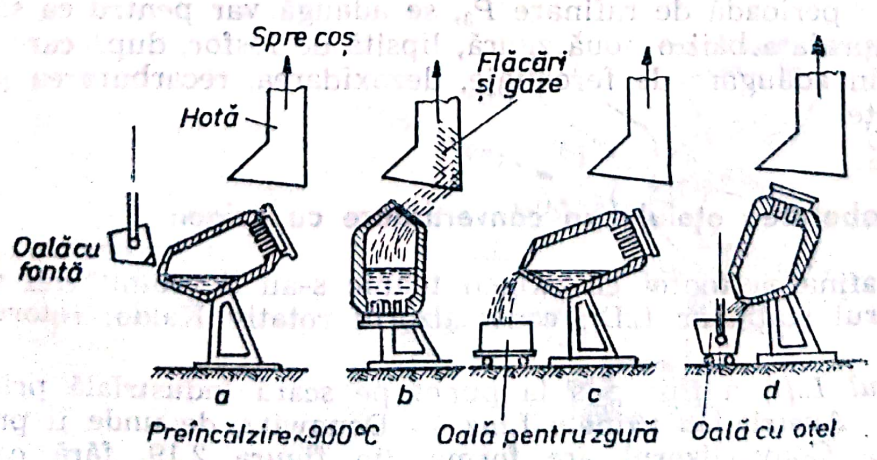


Fig. 2.16. Fazele de funcționare a convertizorului.

Scanned with OKEN Scanner

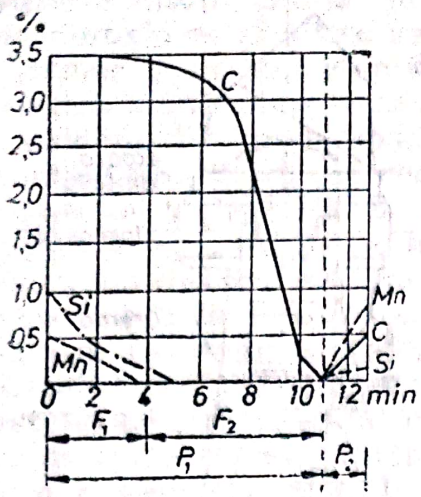


Fig. 2.17. Diagrama de afinare a oțelului în convertizoare acide.

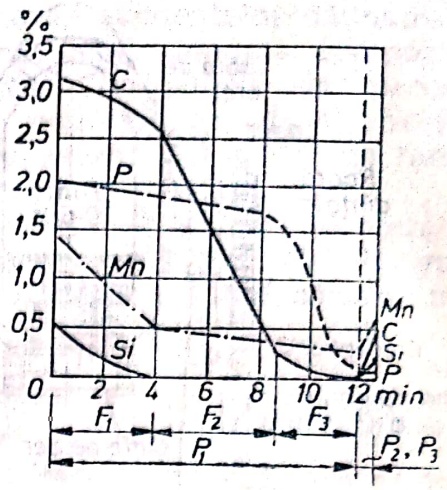


Fig. 2.18. Diagrama de afinare a oțelului în convertizoare bazice.

perioada P_2 de rafinare, se realizează dezoxidarea băii și recarburarea pînă la limita necesară prin adăugare de feromangan și ferosiliciu și eventual alierea oțelului, folosind feroaliajele necesare.

Elaborarea oțelului în convertizorul bazic (Thomas). Ca materie primă se folosește o fontă brută de afinare cu conținut ridicat de fosfor (1,5 . . . 2,2%), deoarece aici principalul element termogen este tocmai fosforul. Prin această metodă se poate realiza o defosforare și desulfurare bună datorită cantității mari de zgură bazică, obținută din CaO adăugat în convertizor ca fondant.

Procesul metalurgic aici este ceva mai complicat. În perioada de afinare P_1 (fig. 2.18) se disting trei faze consecutive: F_1 de oxidare a manganului și siliciului și de formare a zgurii, F_2 de decarburare intensă și F_3 de oxidare intensă a fosforului, care începe numai după ce nu mai sînt alte elemente în baia metalică.

În perioada următoare P_2 zgura care conține mult P_2O_5 trebuie evacuată complet din convertizor, deoarece altfel în ultima perioadă, de recarburare, fosforul din zgură ar trece din nou în baia lichidă de oțel. Această zgură bogată în fosfor se valorifică ca îngrășământ agricol (zgura Thomas).

În ultima perioadă de rafinare P_3, se adaugă var pentru ca să se formeze la suprafața băii o nouă zgură, lipsită de fosfor, după care se poate realiza, prin adăugare de feroaliaje, dezoxidarea, recarburarea și alierea șarjei de oțel.

2.3.3. Elaborarea oțelului în convertizoare cu oxigen

Pentru afinarea fontei cu oxigen tehnic s-au dezvoltat trei variante: convertizorul staționar L.D.; convertizorul rotativ Kaldo; rotorul Oberhausen.

Procedeul L.D. a fost pus la punct pe scară industrială prima dată în 1953 în Austria, la uzinele Linz — Donawitz, de unde îi provine și denumirea. Convertizorul are forma din figura 2.19, fără canale de insuflare în partea inferioară, deoarece oxigenul este suflat deasupra

Scanned with OKEN Scanner

băii metalice lichide printr-o lance de cupru cu pereți dubli printre care circulă apă de răcire.

Oxigenul cu o puritate de 97 ... 99,5% se suflă deasupra fontei lichide de la o distanță de aproximativ 300 mm cu o presiune de 80 ... 180 N/cm², unde temperatura crește peste 2000°C, avînd loc oxidarea rapidă a fierului. Oxidul feros oxidează apoi celelalte elemente însoțitoare. Datorită vitezei foarte mari de suflare a oxigenului se produce și o amestecare a băii metalice, astfel încît vitezele reacțiilor de oxidare sînt foarte mari. Un alt motiv al amestecării continue a băii este faptul că oțelul cu densitatea de $7{,}1 \cdot 10^{-3}$ kg/cm³, tinde să se cufunde, iar locul ei să fie ocupat de fonta cu densitatea mai mică, de circa $6{,}5 \cdot 10^{-3}$ kg/cm³ (la aceste temperaturi ridicate). Durata de suflare cu oxigen este de circa 18 minute. Temperaturile realizate fiind foarte mari, pot fi folosite în șarjă cantități mari de fier vechi, de peste 25%.

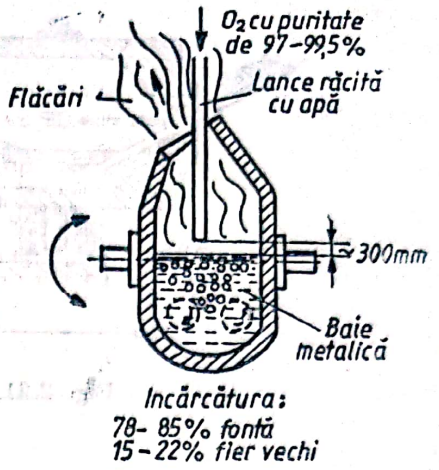


Fig. 2.19. Convertizorul L.D., cu insuflare de oxigen.

Oțelurile obținute prin acest procedeu sînt de o calitate foarte bună, cu un conținut mic de azot, P și S, sînt maleabile și ductile, avînd și o bună sudabilitate. Se pot astfel obține într-un timp scurt și la un cost mai redus oțeluri de calitate echivalentă sau chiar mai bună decît prin procedeul Martin. Înlăturîndu-se zgura de afinare, oțelul poate fi aliat în convertizor în condiții avantajoase, temperatura înaltă permițînd acest lucru.

Pierderile de fier în convertizoarele L.D. prin volatilizare, zgură și stropi sînt de 10 ... 12%. Fumul format în timpul funcționării convertizorului trebuie captat în epuratoare și electrofiltre, putîndu-se realiza o epurare de 99,5%, deoarece altfel condițiile de locuit în zona oțelăriilor cu convertizoare cu oxigen ar fi imposibile.

Convertizorul rotativ Kaldo (fig. 2.20) funcționează în poziția înclinată cu 15 ... 20° față de orizontală și se rotește în jurul axei sale longitudinale cu circa 20 ... 30 rot/min. Oxigenul se insuflă cu presiunea de numai 30 ... 40 N/cm², deci cu viteză redusă. Direcția de insuflare a oxigenului fiind oblică pe suprafața fontei lichide, aceasta nu agită

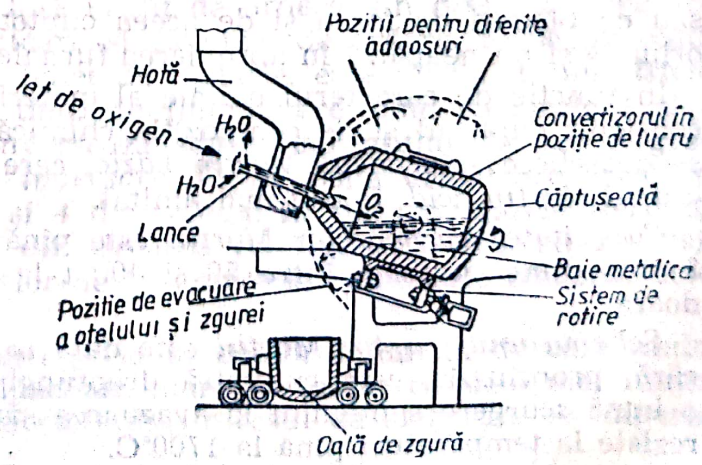


Fig. 2.20. Convertizorul rotativ Kaldo.

Scanned with OKEN Scanner

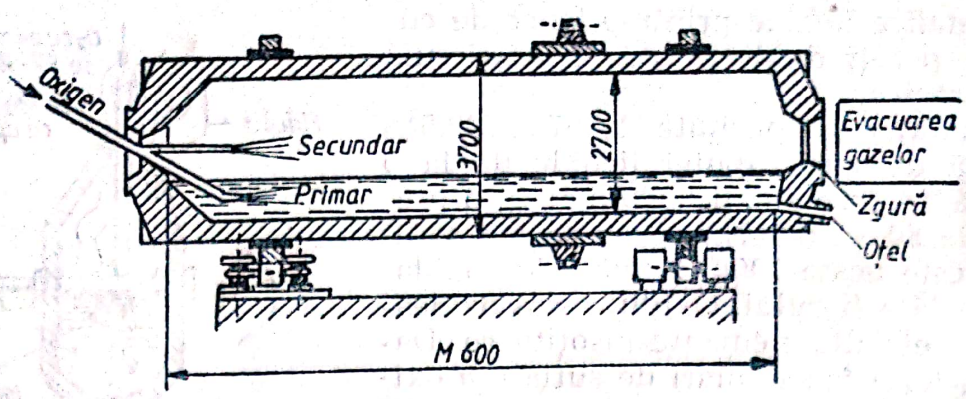


Fig. 2.21. Convertizorul rotativ orizontal.

baia, care însă va fi menținută în mișcare prin rotirea convertizorului. Totodată rotirea realizează și o intensă încălzire suplimentară a băii prin care aici poate să crească proporția de fier vechi din încărcătură pînă la peste 45%.

Rotorul Oberhausen (fig. 2.21), este un cuptor rotativ lung de circa 15 m, cu diametrul interior de 3. . .4 m care se rotește cu 0,5. . .1 rot/min. Oxigenul se introduce atît direct în baia metalică (60 . . . 75%), cît și deasupra băii (40 . . . 25%). Capacitatea unui rotor orizontal poate ajunge pînă la 150 tone. Oțelul obținut este de calitate superioară.

Oțelurile elaborate în convertizoare cu insuflare de oxigen au o puritate ridicată, o sudabilitate bună și un cost mai scăzut. Agregatele au o productivitate ridicată, o bună ritmicitate în elaborarea șarjelor, putînd fi realizate cu investiții mai mici în comparație cu cuptoarele Martin, luînd în calcule și investițiile de la fabrica de oxigen de mare capacitate care deservește o astfel de oțelărie.

2,3.4. Elaborarea oțelului prin procedeul Martin

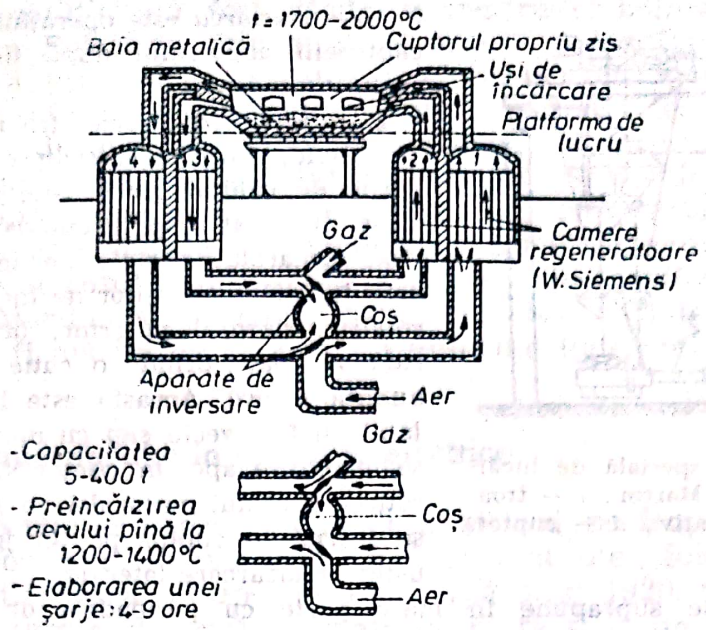
Acest procedeu, apărut în anul 1863, se realizează într-un cuptor cu vatră, încălzit cu flacără, la care arderea combustibilului gazos sau lichid se face cu aer preîncălzit pentru a putea realiza temperaturile de 1800 . . . 2000°C, necesare elaborării în condiții bune a diferitelor sortimente de oțel. Materia primă poate fi foarte variată, putînd folosi de la 0% la 100% fier vechi în încărcătură, împreună cu fontă brută lichidă sau cu blocuri de fontă și de aceea cuptoarele Martin pot fi amplasate oriunde și nu neapărat în apropierea furnalelor.

În funcție de caracterul chimic al materialului refractar din care este construit cuptorul și de compoziția chimică a materiilor prime utilizate, se deosebesc: *procedeul Martin bazic,* care este foarte răspîndit și *procedeul Martin acid,* folosit mai limitat.

Capacitatea cuptoarelor Martin este pînă la 500 t. La noi în țară sînt în funcțiune cuptoare între 50 și 400 t la Reșița, Oțelul Roșu și Hunedoara.

Schema unui cuptor Martin este dată în figura 2.22. Cuptorul cu flacără, propriu-zis, este cu vatră dreptunghiulară, ușor înclinată pentru o bună scurgere a oțelului la evacuarea șarjei. Zidăria vetrei trebuie să reziste la temperaturi pînă la 1700°C.

Scanned with OKEN Scanner



- Capacitatea 5-400 t
- Preîncălzirea aerului pînă la 1200-1400°C
- Elaborarea unei șarje: 4-9 ore

Fig. 2.22. Schema de funcționare a cuptorului Siemens-Martin.

În peretele din față se găsesc, în funcție de mărimea cuptorului, 3, 5 sau 7 *uși de lucru* răcite intens cu apă, spre cuptor fiind căptușite cu cărămidă refractară. *Bolta*, fiind foarte solicitată din punct de vedere termic, se construiește din cărămizi refractare speciale silica sau cromomagnezitice. *Capetele de ardere* așezate în pereții laterali, determină viteza și direcția flăcării, care trebuie să lovească baia în dreptul primei uși.

În partea inferioară, cuptoarele Martin sînt prevăzute cu două perechi de *camere regeneratoare*, care formează un sistem (inventat în 1858 de Fr. și W. Siemens) de preîncălzire atît a aerului cît și a gazelor combustibile, sau numai a aerului în cazul combustibililor superiori. Camerele regeneratoare sînt umplute cu grătare din cărămizi refractare (grilaj), care au rolul de a reține căldura fizică a gazelor de ardere și a o restitui aerului și combustibilului care se introduc în cuptor. Astfel, în situația prezentată în figura 2.22, camerele *3* și *4* din capătul stîng al cuptorului se încălzesc de la gazele de ardere care merg spre *coș*, iar cele din capătul opus se răcesc, încălzind aerul (camera *1*) și combustibilul (camera *2*), care merg spre capul de ardere din dreapta. Legătura între aceste camere regeneratoare și capetele de ardere, respectiv coșul cuptorului amplasat în afara halei de oțelărie, este făcută de un *sistem de canale*. După un anumit timp de funcționare, cînd camerele *1* și *2* din dreapta s-au răcit, se inversează sensul curentului de aer și gaze cu ajutorul unor *aparate de inversare*. În perioada următoare, gazul și aerul intră prin camerele *3* și *4* din stînga, în timp ce gazele fierbinți vor încălzi camerele *1* și *2* din dreapta (v. fig. 2.22, schema de jos). Comanda simultană a aparatelor de inversare la cuptoarele moderne este complet automatizată.

Procesul de elaborare a unei șarje în cuptorul Martin durează mult, 4 . . . 9 ore, dar ele avînd capacitate mare, se obțin deodată mai multe sute de tone de oțel de bună calitate. Procesul de elaborare se împarte în 8 perioade caracteristice:

Scanned with OKEN Scanner

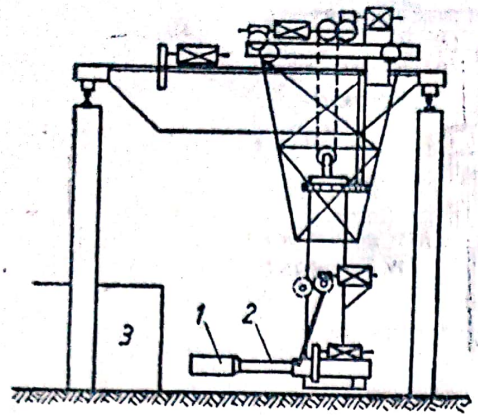


Fig. 2.23. Macara specială de încărcare a cuptoarelor Martin: *1* — troacă; *2* — braţ rotativ; *3* — cuptor.

1 — *ajustarea* este operaţiunea de reparare a căptuşelii cuptorului după fiecare evacuare a şarjei precedente;

2 — *încărcarea şarjei* trebuie să se facă cît mai rapid, pentru a se reduce la minimum pierderile de căldură prin uşile de încărcare deschise. În acest scop la cuptoarele mari se folosesc macarale speciale de încărcat (fig. 2.23), care la înălţimea uşilor de încărcare au un braţ rotativ orizontal puternic, la extremitatea căruia se poate prinde o cutie metalică specială numită *troacă*. Aceasta este încărcată în prealabil cu fier vechi sau cu materialele de adaos, se introduce apoi în cuptor şi se descarcă prin rotirea braţului macaralei cu 180°. Fonta lichidă se toarnă în cuptor pe un jgheab la una din uşile de încărcare laterale;

3 *încălzirea* se suprapune în mare parte cu perioadele de încărcare şi de topire;

4 — *topirea şarjei* trebuie să se facă de asemenea într-un interval pe timp cît mai scurt. Se formează baia metalică acoperită de un strat de zgură primară şi se încep procesele de oxidare a siliciului, manganului şi carbonului;

5 — *afinarea* (fierberea) se consideră că începe atunci cînd toată încărcătura este topită. La începutul afinării se intensifică alimentarea băii cu oxigen prin adăugare de minereu în cuptor. Agitarea intensă a băii, datorită degajării oxidului de carbon format în procesul de decarburare, ajută la încălzirea băii metalice şi la omogenizarea compoziţiei, precum şi la curăţirea băii de particulele nemetalice, ce se ridică în zgură;

6 — *evacuarea zgurei* se face la procedeul Martin bazic cu scopul de a îndepărta din cuptor zgura cu conţinut ridicat de fosfor.

7 — *dezoxidarea, finisarea* şi *alierea oţelului* se face prin introducerea în oţel a feroaliajelor (feromangan, ferosiliciu, silico-mangan etc.). În cazul elaborării oţelurilor aliate, după dezoxidare se adaugă elementele de aliere necesare.

8 — *evacuarea oţelului* constă din descărcarea oţelului în oalele de turnare. După aceasta se poate începe elaborarea unei noi şarje, repetînd tot ciclul de la început.

Dintre *avantajele principale* ale procedeului Martin amintim: posibilitatea realizării în cuptor a temperaturilor chiar foarte ridicate şi reglarea uşoară a temperaturii după dorinţă; posibilitatea utilizării cantităţilor mari de fier vechi, care reprezintă o deosebită importanţă pentru economia ţării; posibilitatea folosirii celor mai diferite calităţi de fonte; obţinerea oţelurilor de calităţi foarte variate; conducerea uşoară şi sigură a elaborării pe baza analizelor rapide, putînd fi luate măsurile corespunzătoare în vederea modificării din timp a funcţionării cuptorului şi realizării oţelului de compoziţia dorită.

Dintre *dezavantajele procedeului* amintim: posibilitate limitată de elaborare a oţelurilor aliate cu elemente uşor oxidabile (Ti, V, Al etc.); posibilitate limitată de elaborare a oţelurilor aliate cu elemente de aliere cu temperaturi de topire foarte ridicate, care ar necesita temperaturi prea înalte în cuptor, micşorînd considerabil durabilitatea materialelor refractare din care este construit cuptorul.

Scanned with OKEN Scanner

Metode îmbunătățite au fost găsite și pentru elaborarea oțelului în cuptoare Martin. Folosirea oxigenului la ardere și insuflarea oxigenului în baia metalică prin lănci, permite accelerarea considerabilă a proceselor de afinare, oferind posibilitatea creșterii indicilor tehnico-economici prin micșorarea duratei de elaborare a șarjei și prin îmbunătățirea bilanțului termic. Rezultate deosebit de bune au fost obținute prin noile procedee, folosind introducerea de oxigen și combustibil prin bolta cuptorului, prin care durata de elaborare a șarjei la cuptoare mari, de 500 t capacitate, a putut fi micșorată la 4 ore. Prin insuflarea oxigenului în cuptoarele Martin de la Hunedoara, capacitatea liniei de cuptoare Martin a putut fi mărită de la 2 la 2,8 milioane tone oțel pe an.

2.3.5. Elaborarea oțelului în cuptoare electrice

Procedeul electric este cel mai modern și mai perfecționat procedeu de elaborare a oțelului. Dezvoltarea producției de oțel, folosind ca sursă de căldură electricitatea, începe de abia după anul 1920, cînd a început să se producă energie electrică în cantitate mare și la un preț din ce în ce mai redus. De atunci producția de oțel în cuptoare electrice a crescut continuu, ajungînd azi la o pondere de peste 20% din producția mondială.

Capacitatea cuptoarelor electrice moderne cu arc variază între 300 kg și 100 de t. La noi în țară funcționează cuptoare de la 500 kg la 100 tone. Cuptoarele electrice cu arc de capacitate mică deservesc în general turnătoriile de oțel (fiind între 1 și 5 t), iar cele mari sînt folosite pentru elaborarea oțelurilor aliate și speciale, atît pentru turnare de piese, cît și pentru turnare de lingouri.

Cuptoarele electrice folosite în *electrometalurgie* pot fi grupate după felul sursei de încălzire a metalului în: cuptoare cu arc și cu inducție. La rîndul lor, cuptoarele cu arc pot fi cu încălzire directă sau indirectă. Cuptoarele cu inducție de asemenea pot fi de două feluri: cu miez de fier (de joasă frecvență) și fără miez (de înaltă frecvență). Din punct de vedere metalurgic, după felul materialului refractar din care este zidită căptușeala, pot fi acide sau bazice.

Avantajele folosirii cuptoarelor electrice în metalurgie sînt multiple: se pot realiza ușor temperaturi chiar foarte ridicate, necesare în special la elaborarea oțelurilor bogat aliate; temperatura poate fi ușor și precis reglată în limite largi; cuptoarele pot fi puse în funcțiune oricînd, rapid și foarte ușor; permit obținerea unor oțeluri de calitate superioară, cu un conținut minim de impurități; permit obținerea diferitelor calități de oțeluri superioare și aliate; este posibilă folosirea fierului vechi sub formă de deșeuri în orice proporție; au o construcție simplă și o mare siguranță în funcționare; pot funcționa economic și dacă regimul este intermitent, cu întreruperi; au un randament termic ridicat; pot fi reparate ușor și foarte repede.

Dintre *dezavantajele* elaborării oțelurilor în cuptoarele electrice amintim: consumă o cantitate importantă de energie electrică relativ scumpă: pot folosi fonta de afinare numai în cantități limitate; capacitatea maximă a cuptoarelor electrice este limitată la valori mai mici față de alte tipuri de cuptoare.

A. Cuptoarele electrice cu arc. Cuptoarele electrice cu arc *cu încălzire indirectă* (fig. 2.24,*1*) pot avea trei electrozi așezați la 120° unul față de

Scanned with OKEN Scanner

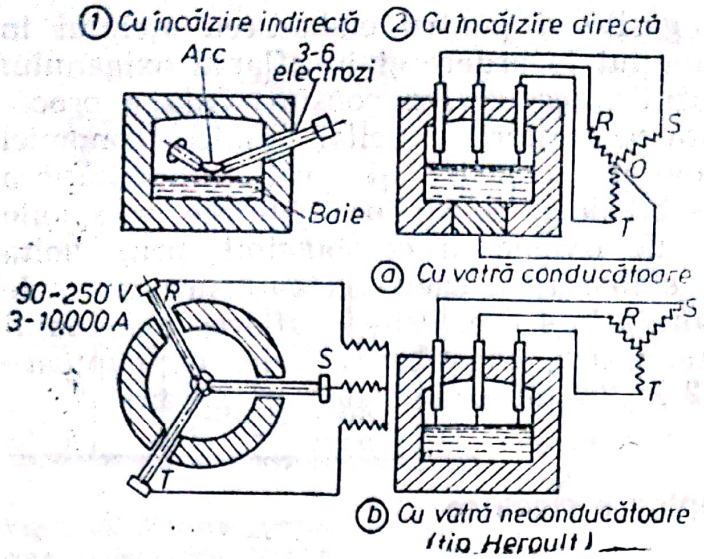


Fig. 2.24. Principiile de funcționare ale cuptoarelor electrice cu arc.

altul, legați la un transformator trifazat. Arcul electric produs între acești electrozi încălzește baia metalică prin radiație, în mod indirect, din care cauză cuptorul are un randament redus, iar căldura radiată de arcurile electrice în sus, are o acțiune distrugătoare asupra bolții și pereților cuptorului. Acest tip de cuptor azi nu se mai folosește în oțelării.

Cuptoarele cu arc cu *încălzire directă* pot fi cu *vatră conducătoare* sau cu *vatră neconducătoare*. În primul caz (fig. 2.24,*2-a*), arcul electric se formează între cei trei electrozi și baia metalică, legată și ea la sursa de curent prin vatra conducătoare. Trecerea curentului se face după circuitul: electrod—arc—zgură—baie metalică—vatră. Aceste cuptoare fiind însă mai complicate, au fost aproape integral înlocuite cu cele cu vatră neconducătoare.

Cuptorul electric cu arc cu încălzire directă și cu vatră neconducătoare, tip Héroult (fig. 2.24,*2-b*), este cel mai răspîndit cuptor electric în oțelăriile moderne. La acest cuptor arcurile formate între cei trei electrozi se închid prin baie după circuitul: electrod—arc—zgură—baie metalică—zgură—arc—electrodul vecin. În figura 2.25 este prezentată schema unui asemenea cuptor modern. Cuptorul are formă cilindrică cu fundul sferic. Este construit din tablă de oțel de 10 . . . 30 mm, fiind căptușit cu material refractar acid sau bazic. Într-o parte laterală este ușa de încărcare, iar în partea opusă gura cu jgheabul de evacuare a oțelului. Cei trei electrozi de grafit, așezați în triunghi, pătrund prin bolta cuptorului și se pot mișca liber în sus și în jos.

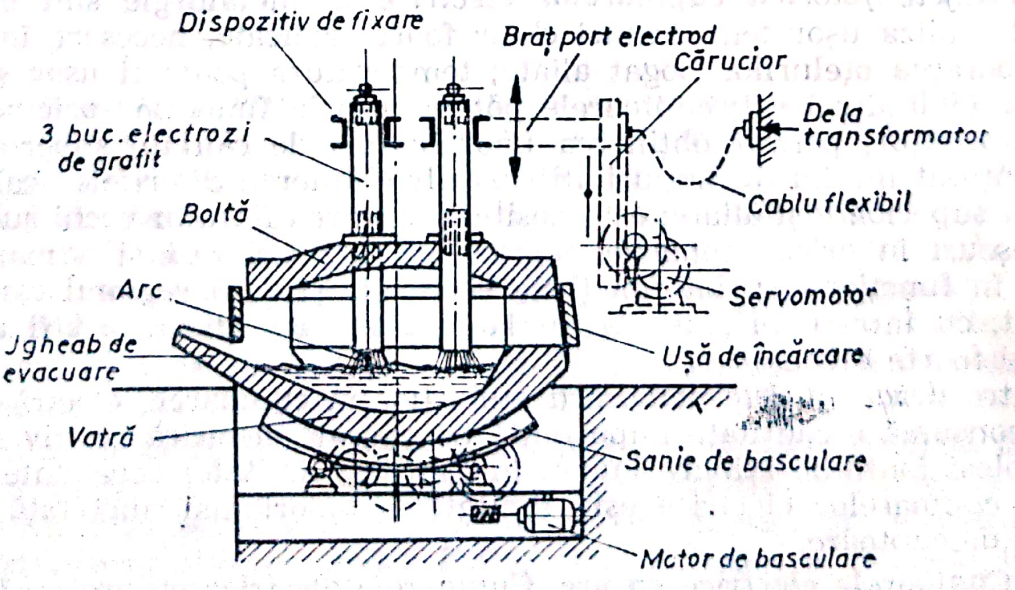


Fig. 2.25. Cuptor electric cu arc tip Héroult.

Scanned with OKEN Scanner

Cuptorul este alimentat cu curent alternativ trifazic de la un transformator propriu, care coboară tensiunea rețelei de alimentare de la 3000... ...6000 V, la tensiunea de 80...500 V. Cuptoarele moderne sînt basculante, fiind construite pe o sanie de basculare, care poate fi acționată mecanic sau hidraulic. Electrozii sînt susținuți de stîlpi fixați pe sania de basculare și se mișcă împreună cu cuptorul. Fiecare electrod este fixat pe un *braț port-electrod* separat, montat pe cîte un cărucior deplasabil în direcție verticală cu ajutorul unui sistem de scripeți, sau telescopic. Poziția fiecărui electrod este reglată în mod automat de cîte un *servomotor* comandat de către *sistemul electronic de reglare automată a lungimii arcurilor* electrice.

Electrozii sînt din cărbune sau grafit, au o secțiune circulară (se fabrică la Uzinele Carbochim Cluj), iar pentru îmbinarea lor cap la cap, electrozii sînt prevăzuți la capete cu orificii conice, filetate în care se înșurubează nipluri de legătură.

Puterea maximă a transformatorului de alimentare este folosită numai în timpul perioadei de topire, în restul perioadelor fiind încărcat numai parțial. În timpul perioadei de topire a încărcăturii se produc șocuri foarte mari de curent care periclitează conductorii și elementele de conectare. De aceea în circuit se intercalează o bobină de șoc cu inductanță mare, dar aceasta micșorînd considerabil factorul de putere, după ce încărcătura este topită și arcul se stabilizează, bobina se scoate din circuit. Transformatoarele moderne sînt astfel construite încît permit preluarea unei suprasarcini de 25% timp de circa 2 ore și a unor suprasarcini de 250% timp de cîteva secunde. Dacă se folosesc relee de curent maximal, reglate pentru anumite durate de timp, transformatorul, la suprasarcini prea mari și de durată mai lungă, se deconectează automat de la rețea, putînd fi eliminate bobinele de șoc din circuit.

B. Cuptoarele electrice cu inducție își bazează funcționarea pe căldura produsă de curenții induși în masa metalului sau a creuzetului de grafit, plasat într-un cîmp electromagnetic variabil. Astfel, cuptorul în fond este un transformator electric, la care rolul bobinei secundare îl îndeplinește însăși metalul care trebuie topit și menținut timp îndelungat la temperaturi foarte ridicate.

1. *Cuptorul cu inducție cu miez (de joasă frecvență)*, are o bobină primară înfășurată în jurul unui miez de fier (fig. 2.26), și este alimentat cu curent alternativ de joasă frecvență (între 50 . . . 500 Hz), fiind folosită de obicei frecvența industrială de 50 Hz. Bobina secundară are o singură spiră, formată de însăși baia metalică ce se găsește într-un jgheab inelar (construit din material refractar). După terminarea unei șarje, jgheabul circular nu se golește complet, ca metalul rămas să poată conduce curentul pînă la încălzirea și topirea șarjei următoare (la prima pornire se folosesc inele metalice închise, sudate). Din cauza dezavantajelor, aceste cuptoare într-o variantă modernizată sînt folosite mai mult numai în turnătorii, pentru topirea aliajelor neferoase.

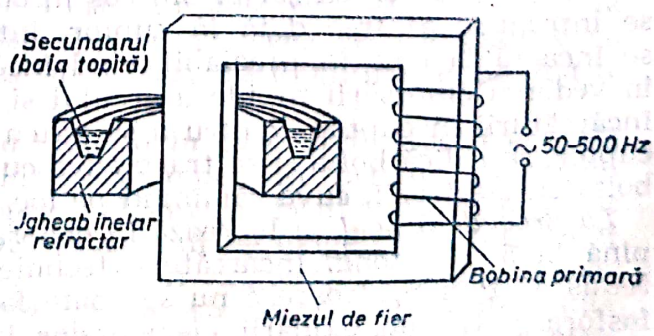


Fig. 2.26. Cuptor cu inducție cu miez.

2. *Cuptorul cu inducție fără miez (de înaltă frecvență sau de medie frecvență)* este format

Scanned with OKEN Scanner

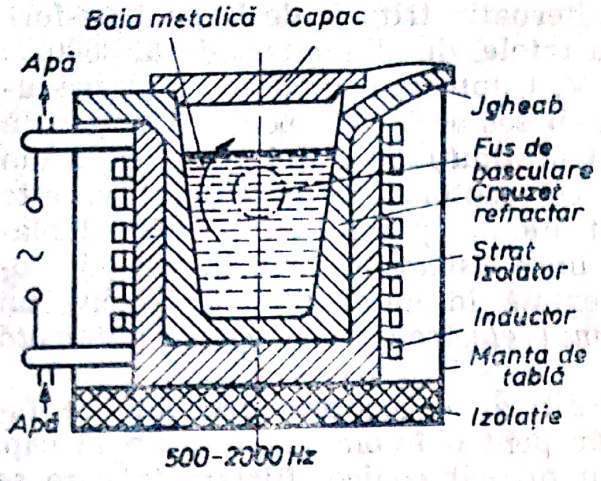


Fig. 2.27. Cuptor cu inducție fără miez.

dintr-un creuzet refractar, în care se găsește încărcătura metalică (fig. 2.27). Creuzetul este înconjurat de un strat de material termoizolant și apoi de o bobină (inductor), executată din țeavă de cupru cu secțiune dreptunghiulară, prin care circulă intens apă de răcire. Inductorul este alimentat cu un curent de medie sau înaltă frecvență, între 500 și 2000 Hz, obținut de obicei cu ajutorul unui grup convertizor monofazat. Astfel, curenții turbionari de înaltă frecvență, care se induc în încărcătura din creuzet, vor realiza rapid topirea și încălzirea încărcăturii pînă la temperaturile necesare. Lucrînd cu un cîmp de înaltă frecvență nu este nevoie de miez de fier, construcția cuptorului se simplifică considerabil, iar volumul util crește mult. Temperatura poate fi reglată foarte precis și între limite largi, temperatura superioară fiind limitată numai la refractaritatea materialului creuzetului.

O particularitate importantă a cuptoarelor cu inducție o constituie acțiunea electrodinamică a curentului asupra băii, care provoacă agitația continuă a metalului lichid, favorizînd încălzirea și omogenizarea băii. O perfecționare a cuptoarelor cu inducție o reprezintă *cuptoarele cu inducție și vid,* care asigură o dezoxidare foarte avansată și obținerea unor oțeluri de calitate deosebit de bună.

Cuptoarele electrice cu inducție sînt folosite la fabricarea oțelurilor bogat aliate, cu conținut ridicat de Ni, W, Cr, Mo, V etc. cum sînt oțelurile inoxidabile, cele pentru magneți permanenți, oțelurile aliate pentru scule, oțelurile rapide etc.

Particularitățile procesului de elaborare a oțelurilor în cuptoare electrice. La procedeul bazic se întîlnesc aceleași perioade și faze ca și la elaborarea în cuptorul Martin. Lipsa unei flăcări oxidante, precum și posibilitatea ridicării și reglării temperaturii în condiții optime, permite o mai bună dezoxidare și desulfurare, deci obținerea unui oțel de calitate superioară.

Încărcarea cuptorului se face manual sau mecanic. Cel mai bun sistem de încărcare mecanizată este cu ajutorul coșului cilindric de încărcare (fig. 2.28) cu fundul format din segmenți de lanț, care se deschid în momentul descărcării șarjei din coș în cuptor. Astfel întreaga încărcătură se introduce dintr-o dată în cuptor, într-un timp minim posibil. Coșul se încarcă la rece în prealabil, cînd încărcătura poate fi corect aranjată în vederea amorsării rapide a arcului și pentru topirea în timp minim a încărcăturii în cuptor. Pentru a se putea introduce încărcătura din coș în cuptor, se ridică bolta și se trage cuva cuptorului la o parte sau se rotește bolta cu electrozii, cuva rămînînd pe loc.

La procedeul acid se lucrează în general în *cuptoare cu capacități mici,* pînă la 5 . . . 8 tone. Încărcătura trebuie să fie cu un conținut cît mai redus de P și S, deoarece nu se poate face aici nici desulfurare, nici defosforare. Durata oxidării elementelor însoțitoare este mai scurtă decît la cuptorul bazic, datorită materiei prime mai curate. Oțelul electric

Scanned with OKEN Scanner

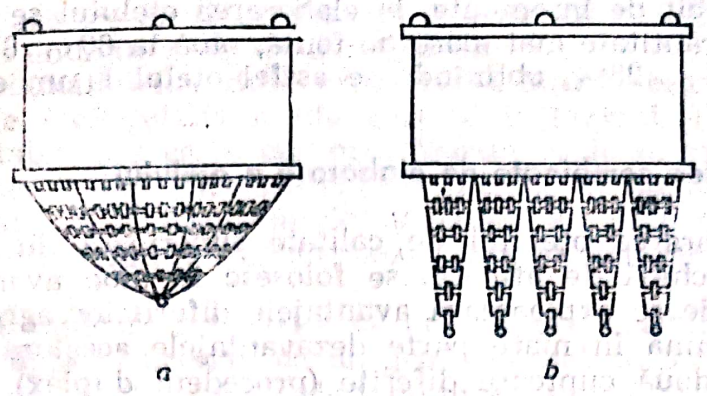


Fig. 2.28. Coș de încărcare a cuptoarelor electrice:
a — cu segmenții uniți; *b* — coșul deschis, după încărcarea cuptorului.

elaborat în cuptoare acide este *foarte potrivit pentru turnarea de piese* cu pereți subțiri, avînd o fluiditate mare și permițînd umplerea completă a formelor chiar complicate. Cuptoarele electrice acide cu arc sînt indicate pentru turnătorii, deoarece se întreține ușor, materialul refractar este ieftin, se pretează la program de lucru cu întreruperi și dau șarje aproximativ în fiecare 4 ore.

Elaborarea oțelului în cuptoare cu inducție fără miez. Se folosește o încărcătură deosebit de curată și sortată cu mare atenție, astfel încît *prin topire să rezulte direct compoziția dorită a oțelului.* La sfîrșitul elaborării se introduc numai mici cantități de feroaliaje pentru a corecta compoziția aliajului și pentru a realiza o dezoxidare avansată.

La cuptoarele cu inducție, *zgura* care acoperă baia *este mult mai rece* decît metalul topit, nefiind încălzită decît indirect, de la baia metalică. Ea constituie *numai un strat protector*, incapabil de a reacționa cu baia și de a servi ca fază intermediară între atmosfera cuptorului și baia metalică în reacțiile fizico-chimice care au loc în timpul elaborării, așa cum se întîmplă la alte tipuri de cuptoare studiate.

Cuptoarele electrice cu inducție fără miez sînt folosite pentru obținerea oțelurilor bogat aliate și cu un conținut redus de carbon, ceea ce este foarte greu de realizat în cuptoarele electrice cu arc, unde carbonul din electrozi este absorbit parțial de către baie, neadmițînd micșorarea conținutului de carbon în oțel sub anumite limite.

Cîțiva *indicatori tehnico-economici ai elaborării oțelului în cuptoare electrice:* consumul de energie electrică variază între 200 și 850 kWh/tona de oțel; consumul de electrozi variază între 3 . . . 5 kg/tona de oțel; durata de elaborare a unei șarje depinde de felul încărcăturii și de capacitatea cuptorului, variind între 2 și 8 ore; timpul efectiv de lucru a unui cuptor electric ajunge la 325 . . . 330 zile pe an, ceea ce, comparativ cu alte tipuri de cuptoare, este foarte mult (reparații puține și de foarte scurtă durată).

Metodele moderne de elaborare a oțelului în cuptoarele electrice caută să îmbunătățească indicatorii tehnico-economici, în primul rînd prin suflarea oxigenului în cuptor ca agent oxidant (în locul folosirii în acest scop a minereului sau a țunderului). Consumul de oxigen este între 6 și 12 m^3 pe tona de oțel. Prin folosirea insuflării oxigenului în baie, temperatura acesteia crește, viteza reacțiilor se mărește, se reduce durata totală a elaborării, crescînd cu 30 . . . 40% productivitatea cuptoarelor, iar consumul de energie electrică se micșorează cu 15 . . . 20%. În afara acestor

avantaje deosebit de însemnate, la elaborarea oțelului se poate folosi în încărcătură o cantitate mai mare de fontă, pînă la 60 . . . 80% față de cea normală de 15 . . . 25%, obținîndu-se astfel oțelul la un cost mai redus.

2.3.6. Procedee combinate de elaborare a oțelului

Pentru elaborarea oțelului de calitate superioară din încărcături cu multă fontă lichidă de afinare, se folosesc în mod avantajos procedee combinate, unde se exploatează avantajele diferitelor agregate de elaborare și se elimină în mare parte dezavantajele acestora. Elaborarea se efectuează în două cuptoare diferite (procedeul duplex), sau consecutiv în trei cuptoare diferite (procedeul triplex). De exemplu decarburarea, defosforarea și îndepărtarea siliciului și a manganului se realizează în convertizoare cu oxigen, iar apoi șarja lichidă se trece într-un cuptor electric cu arc, în care se va realiza dezoxidarea și desulfurarea avansată, precum și ajustarea compoziției oțelului.

Pentru a ușura transportul metalului topit dintr-un cuptor în altul, cele două, sau cele trei cuptoare de diferite tipuri sînt așezate denivelat și legate între ele prin canale de scurgere directă a metalului. Aceste procedee combinate de elaborare a oțelurilor sînt foarte avantajoase atît din punct de vedere tehnic cît și economic, dar pun probleme destul de dificile în privința sincronizării funcționării cuptoarelor și în privința transportului metalului lichid dintr-un cuptor în altul.

2.3.7. Metode de elaborare directă a oțelului

Se știe că oțelurile au în general un conținut de carbon redus. Totuși la metodele obișnuite de elaborare din minereuri se extrage fonta brută, cu un conținut foarte mare de carbon, care ulterior, în alte cuptoare metalurgice se va transforma în oțel cu conținut de carbon redus. S-a pus și problema dacă nu ar fi posibil să se obțină din minereuri direct oțelul, fără să se mai treacă prin faza de fontă brută, cu conținut de carbon aparent inutil de ridicat. În acest sens au fost realizate numeroase cercetări și încercări la fază pilot, semiindustrială sau industrială, folosind cît mai rațional condițiile locale ale siderurgiei diferitelor țări. Totuși problema nu a putut fi rezolvată complet pînă în prezent, furnalele uriașe nu au putut fi înlocuite cu alte agregate siderurgice mai avantajoase din punct de vedere tehnic și economic. Rezultatele favorabile obținute, cu toate acestea permit să se întrevadă într-un viitor apropiat rezolvarea obținerii pe scară mai largă a oțelului direct din minereu. În acest sens o importanță deosebită prezintă și posibilitatea folosirii ca agent reducător a gazului metan în locul cocsului deficitar și scump. Prin perfecționarea procedeelor de preparare a minereurilor și obținerea *superconcentratelor* foarte bogate, elaborarea directă a oțelului din minereu poate deveni și mai rentabilă.

2.3.8. Calitatea oțelurilor în funcție de procedeul de elaborare

În funcție de condițiile din cuptorul de elaborare și de caracteristicile zgurei, oțelurile elaborate în diferitele tipuri de cuptoare și prin diferite procedee se deosebesc în special prin conținutul de gaze și incluziuni

Scanned with OKEN Scanner

nemetalice. Ca urmare au și proprietăți diferite, fiecare fiind mai corespunzător pentru anumite domenii de utilizare.

Cu toate îmbunătățirile aduse procedeului Martin bazic, oțelul astfel elabarat conține încă relativ multe gaze și incluziuni. Procedeul fiind însă foarte rentabil face ca în cuptorul Martin bazic să se poată elabora marea majoritate a oțelurilor carbon de calitate și un număr mare de oțeluri slab aliate. În convertizoarele cu oxigen se obțin oțeluri similare cu cele elaborate în cuptorul Martin bazic, însă în condiții economice mai avantajoase.

Condițiile din cuptoarele electrice cu arc asigură posibilitatea obținerii oțelurilor cu compoziții precise, cu un grad avansat de puritate, realizînd oțeluri chiar bogat aliate, cu pierderi minime de elemente de aliere.

În oțelăriile moderne calitatea oțelurilor mai pretențioase se mai poate îmbunătăți considerabil prin barbotare cu argon sau prin tratarea în vid a oțelului topit, respectiv prin retopire în vid sau sub zgură.

2.3.9. Turnarea oțelului în lingotiere

Oțelul elaborat în oricare agregat siderurgic este evacuat într-o oală de turnare, a cărei capacitate este de obicei egală cu capacitatea cuptorului. *Oala de turnare* (STAS 2761—66) este făcută din tablă de oțel nituită sau sudată și este căptușită cu *cărămizi de șamotă*. Volumul oalei trebuie să cuprindă cantitatea cerută de oțel, un strat de zgură de 200 . . . 300 mm pentru izolație și să mai rămînă sus un spațiu liber de minimum 100 . . . 200 mm. Oala este susținută de o centură de oțel cu două fusuri (fig. 2.29), care se pot agăța într-un jug susținut de cîrligul podului rulant. La fund oala este prevăzută cu un orificiu de turnare, prin care se va scurge oțelul fără să se amestece cu zgura (care plutește la suprafața băii lichide de metal). Orificiul se închide cu un *dop de șamotă* sau grafit, susținut de o bară metalică, protejată de acțiunea corosivă a oțelului și zgurei cu niște tuburi de șamotă. Dopul este manevrat din exterior prin intermediul unui *sistem de pîrghii*. Pentru evitarea accidentelor, oalele sînt prevăzute și cu un sistem de blocare a dopului în timpul transportului. După fiecare turnare oala se repară, se înlocuiește mai des cărămida specială a orificiului de golire, se usucă foarte bine căptușeala reparată (pericol de explozie!) și se preîncălzește oala la 600 . . . 700°C. Căptușeala oalei de turnare rezistă la 12 . . . 20 de turnări.

Lingotierele sînt forme metalice din fontă, fără fund, cu pereți puțin înclinați (2 . . . 4°), pentru a ușura scoaterea lingoului solidificat din lingotieră. În general lingotiera are formă de trunchi de piramidă (fig. 2.30), cu secțiunea transversală pătrată, dreptunghiulară, poligonală, cu colțurile rotunjite, rotundă etc. După fiecare turnare lingotierele se curățâ, se încălzesc la 80 . . . 120°C și se acoperă la interior cu un strat de vopsea refractară. Dimensiunile lingotierelor sînt foarte variate, servind pentru turnarea lingourilor de la

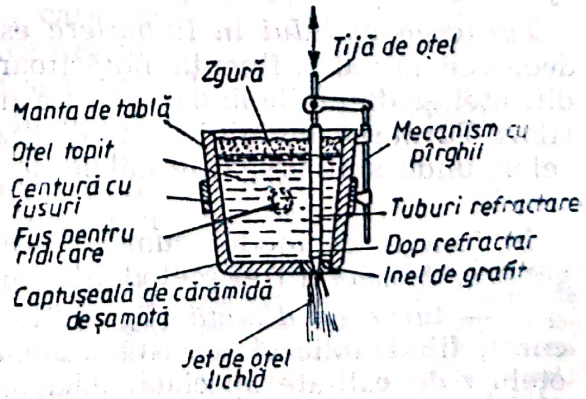


Fig. 2.29. Oală de turnare cu golire prin orificiul de la fund.

Scanned with OKEN Scanner

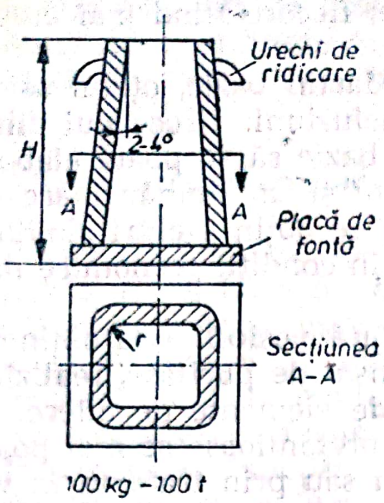


Fig. 2.30. Lingotieră pentru turnarea oțelului.

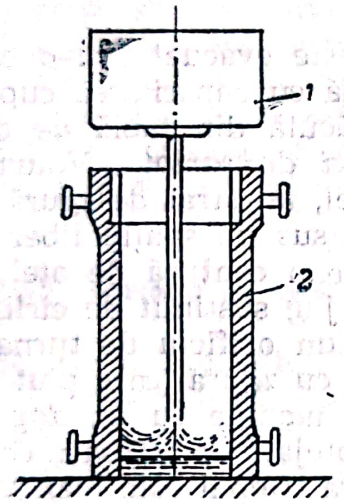


Fig. 2.31. Turnarea directă a oțelului în lingotieră: *1* — oala de turnare; *2* — lingotiera.

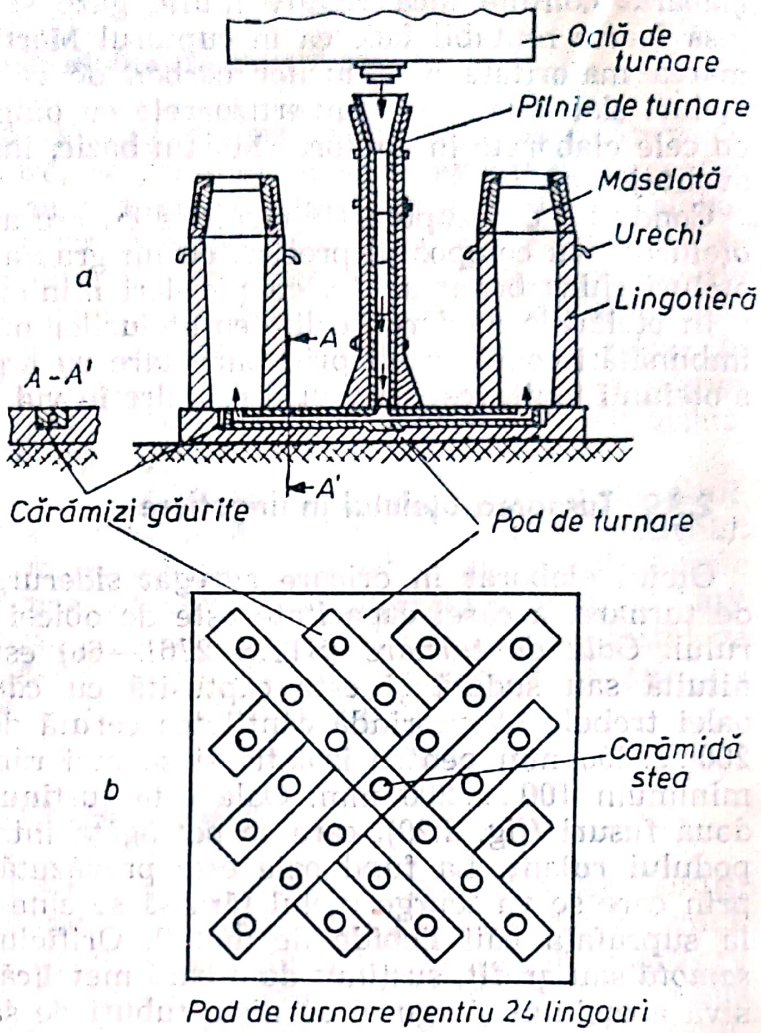


Fig. 2.32. Turnarea indirectă (prin sifon) a oțelului în lingotiere: *a* — principiul turnării; *b* — vedere de sus a unui pod de turnare pentru 24 de lingotiere.

100 kg pînă la 100 tone sau chiar și mai mult.

Scoaterea prin presare a lingoului solidificat din lingotieră se face cu ajutorul unei macarale speciale numită *striper*.

Turnarea oțelului în lingotiere este o operație deosebit de importantă, deoarece are o influență hotărîtoare asupra calității lingourilor turnate din oțel și de ea depinde evitarea multor defecte de turnare și a rebuturilor. Turnarea oțelului se realizează într-o hală alăturată halei cuptoarelor, unde sînt pregătite oalele de turnare, podurile de turnare și lingotierele.

În funcție de modul cum se toarnă oțelul din oala de turnare în lingotiere, deosebim trei metode de turnare:

a — turnarea directă (fig. 2.31) prezintă avantajul că oțelul este mai curat, fiind aplicată această metodă la turnarea lingourilor mari și din oțeluri de calitate specială. Aici apare dezavantajul că lingourile astfel turnate au o suprafață urîtă datorită stropilor solidificați pe pereții lingotierei în timpul turnării, ceea ce duce și la defectul numit „picături

Scanned with OKEN Scanner

reci". De asemenea prin această metodă nu se pot turna lingouri mici din cuptoare mari, deoarece ar trebui deschis și închis orificiul de turnare al oalei de prea multe ori;

b — turnarea indirectă sau prin *sifon* (fig. 2.32) necesită utilaje suplimentare de turnare. *Podurile de turnare* sînt niște plăci groase de fontă în care sînt prevăzute șanțuri pentru introducerea cărămizilor găurite care formează *rețeaua* ceramică de *turnare*. În mijlocul podului este așezată *cărămida stea* cu o serie de canale radiale. Metalul turnat în *pîlnia centrală*, prin rețeaua de turnare a podului, ajunge la fiecare lingotieră și astfel vor fi umplute de jos în sus, toate simultan.

Turnarea prin sifon are avantajul că permite turnarea mai multor lingouri (de la 2 pînă la 100) deodată și lingourile au suprafața curată, deoarece oțelul urcă liniștit în lingotiere, fără stropiri. Durata turnării prin această metodă este scurtă, dopul oalei de turnare se uzează mai puțin și lingotierele au o durabilitate de circa două ori mai mare. Turnarea prin această metodă este însă mai scumpă, deoarece se consumă materiale refractare și manoperă în plus și oțelul este mai impur, trecînd pînă la lingotieră printr-o serie de canale din materiale refractare. Totuși turnarea prin sifon este metoda cea mai utilizată pentru turnarea lingourilor mici, din oțeluri de calitate obișnuită.

Solidificarea lingoului de oțel are loc cu viteze diferite pe zone, pornind de la peretele lingotierei spre axa lingoului. La contactul oțelului lichid cu pereții reci ai lingotierei se solidifică brusc o crustă cu o structură fină, formată din cristale echiaxiale (fig. 2.33). Prin solidificare crusta se contractă și se desprinde de pe pereții lingotierei, iar aerul care pătrunde în acest spațiu avînd o conductivitate termică redusă și între timp pereții lingotierei încălzindu-se și ei din ce în ce mai mult, transmiterea de căldură de la oțelul lichid spre exteriorul lingotierei se încetinește. Astfel se va solidifica în continuare zona cristalelor columnare, orientate perpendicular pe suprafața de răcire (zonă de transcristalizare).

Temperatura scăzînd mereu în timpul solidificării lingoului, oțelul rămas lichid în centrul lingoului se solidifică pînă la urmă relativ brusc, formînd zona centrală a cristalelor echiaxiale mari și neorientate.

Partea superioară a lingoului, unde se situează *retasura*, și unde se strînge cea mai mare parte din impuritățile conținute în oțel, se numește *maselotă*, ea reprezentînd 20 . . . 25% din greutatea lingoului. Partea inferioară, care de asemenea conține o cantitate mai mare de impurități, se numește *piciorul lingoului* și reprezintă 5 . . . 7% din greutatea totală a lingoului. Aceste părți trebuie tăiate prin așa-numita operație de *sutaj*, rămînînd astfel pentru utilizare numai 65 . . . 80% din greutatea inițială a lingoului turnat.

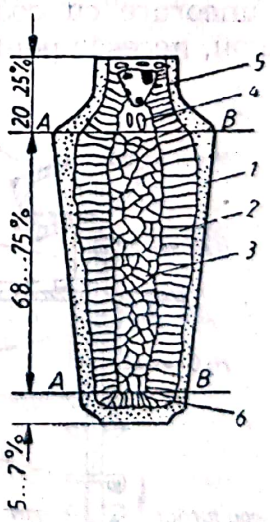


Fig. 2.33. Structura lingoului de oțel turnat: *1* — zona de grăunți fini; *2* — zona cristalelor columnare; *3* — zona cristalelor echiaxiale mari; *4* — maselota; *5* — retasura; *6* — partea de la fund a lingoului.

Lingourile de oțel prezintă multe defecte, inerente turnării, ca urmare a proceselor de solidificare, dar și unele care se datoresc nerespectării condițiilor de elaborare și turnare. *Dintre defectele lingourilor* (v. și STAS 782—79), *amintim* următoarele: *retasura* este golul de

Scanned with OKEN Scanner

contracție în formă de pîlnie care apare în partea superioară a lingoului în urma procesului de contracție la solidificare și răcire. Pentru reducerea pierderilor de oțel din *tăierea maselotei,* această zonă a lingotierei se căptușește (fig. 2.32) cu *materiale refractare termoizolatoare sau* chiar *termogene,* menținînd oțelul în stare lichidă timp mai îndelungat în această zonă, care să poată alimenta restul lingoului cu metal lichid pe măsura contracției acestuia (rolul maselotei); *suflurile* sau incluziunile de bule gazoase sînt goluri de dimensiuni mici în masa lingoului, umplute cu hidrogen, azot, oxid de carbon sau alte gaze; *segregațiile* sînt neomogenități de ordin chimic în masa lingoului, apărute datorită răcirii neuniforme, de la periferie spre centru a acestuia; *incluziunile nemetalice* sînt particule de oxizi, silicați, sulfuri, sau particule de materiale refractare sau de zgură, care rămîn în masa metalică și constituie discontinuități, ceea ce reduce mult rezistența materialului la solicitări dinamice; *picăturile reci* sînt globule dure de oțel la suprafața sau în masa lingoului. În timpul umplerii lingotierei prin turnare directă (de sus), pe pereții lingotierei sar picături de oțel care se solidifică și se oxidează la suprafață. Aceste picături solidificate, în timpul ridicării nivelului de oțel lichid în lingotieră, sînt prinse în crusta marginală a lingoului, dar ele fiind deja oxidate, nu se pot suda sau contopi cu restul masei de oțel. La deformările plastice ulterioare din aceste picături reci vor apare exfolieri și microfisuri în zona superficială a produselor laminate sau forjate; *fulgii* constau din ruperi locale, intercristaline care apar după prelucrarea la cald a oțelului prin laminare, forjare etc. și se datoresc prezenței hidrogenului rămas în oțel în urma elaborării incorecte; *crăpăturile la rece sau la cald* se datoresc tensiunilor interne, provocate de variațiile termice în masa lingoului în timpul solidificării și răcirii;

c — turnarea continuă a lingourilor este o metodă modernă de turnare care nu se execută într-o lingotieră clasică, ci într-un așa-numit *cristalizator răcit cu apă* (fig. 2.34). La începutul turnării, cristalizatorul este închis din partea inferioară de către un fund fals, prevăzut cu un sistem de ancorare cu coadă de rîndunică pe suprafața de contact cu viitorul lingou, necesar pentru a asigura tragerea ulterioară a semifabricatului turnat în jos, pînă ce lungimea acestuia va fi suficientă să poată fi strîns lingoul în curs de formare între rolele zimțate de avans. Viteza de deplasare continuă a lingoului turnat trebuie să fie egală cu viteza de solidificare (cristalizare) a oțelului. Zona interioară a semifabricatului se solidifică mai încet din cauza conductivității termice scăzute a oțelului lichid și a crustei calde, deja solidificate, motiv pentru care este nevoie de un sistem de răcire suplimentară a lingoului semisolidificat la ieșirea acestuia din cristalizator, pentru ca în momentul tăierii semifabricatului să fie deja complet solidificat.

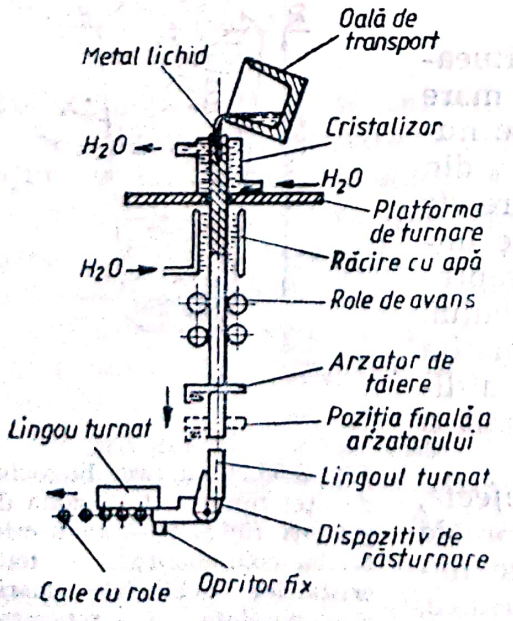


Fig. 2.34. Instalație pentru turnarea continuă a lingourilor.

Lingourile sînt tăiate la capătul instalației complexe de turnare continuă, fie mecanic, fie cu flacără oxiacetilenică. Astfel se pot obține lingouri de

Scanned with OKEN Scanner

orice lungime care să corespundă cît mai perfect operațiilor tehnologice de prelucrare la cald care urmează.

De obicei dimensiunile secțiunii semifabricatelor pătrate, turnate prin această metodă, nu sînt mai mari de 150 × 150 . . . 300 × 300 mm. Pentru semifabricatele care trebuie să aibă o secțiune mai mare, se recomandă secțiuni dreptunghiulare, a căror grosime să nu depășească dimensiunile date mai sus pentru secțiunile pătrate.

Lingourile obținute prin turnare continuă au o structură uniformă, fină și densă, fără retasură și în general cu mult mai puține defecte de turnare decît cele obținute prin metodele clasice de turnare. Metoda prezintă avantajul că se pretează la automatizare, se economisește manoperă, se obțin lingouri de calitate foarte bună, fără să se piardă cantități importante de oțel prin șutaje și, în plus, se scoate complet laminorul bluming din circuitul de fabricație al produselor laminate (v. subcapitolul 5.3).

2.4. CARACTERISTICI, ELABORAREA ȘI DOMENIILE DE UTILIZARE A PRINCIPALELOR METALE ȘI ALIAJE NEFEROASE PENTRU CONSTRUCȚIA DE MAȘINI ȘI ELECTROTEHNICĂ

2.4.1. Generalități

Metalele și aliajele neferoase au o deosebită importanță în dezvoltarea tehnicii noi, ele avînd o largă utilizare în electrotehnică și electronică, în construcția de autovehicule, nave, avioane, nave cosmice, în tehnica nucleară, în medicină, în industria chimică, alimentară și altele.

Întrebuințarea metalelor și aliajelor neferoase se impune datorită unor calități și proprietăți favorabile față de cele ale aliajelor feroase cum sînt: rezistență mai bună la coroziune; conductivitate electrică și termică mai ridicată; proprietăți electrice și magnetice deosebite; greutate specifică redusă a unor metale (Al, Mg etc.); pot fi folosite ca aliaje de lipit și altele. O clasificare a metalelor neferoase este dată în tabelul 2.1.

Tabelul 2.1

Clasificarea metalelor neferoase

Metale neferoase	grele ($\rho > 5$ g/cm³)	greu fuzibile ($t_{top} > 1000$ °C)	Cu, Ni, Cr, Mn, Mo, Zr, U, Co, W, Au, V, Pt, Ta etc.
		ușor fuzibile ($t_{top} < 1000$ °C)	Pb, Sn, Zn, Ag, Cd, Sb, Bi, Ge etc.
	ușoare ($\rho < 5$ g/cm³)	greu fuzibile ($t_{top} > 1000$ °C)	Ti, Be etc.
		ușor fuzibile ($t_{top} < 1000$ °C)	Al, Mg etc.

În schimb unele metale și aliaje neferoase sînt deficitare și au în general un preț foarte ridicat. De aceea se urmărește: folosirea lor bine justificată; înlocuirea metalelor și aliajelor neferoase cu aliaje feroase sau cu materiale plastice; recuperarea și valorificarea deșeurilor din aceste metale.

Scanned with OKEN Scanner

Metalele neferoase pure se folosesc foarte rar în industria constructoare de mașini, fiind în schimb folosite, pe o scară relativ largă, *aliajele metalelor neferoase* care au proprietăți fizice, chimice, mecanice și tehnologice superioare.

Datorită concentrațiilor mici ale metalelor neferoase în *minereuri*, precum și faptului că în minereurile complexe se găsesc mai multe metale cu proprietăți diferite, extragerea acestora nu se poate face printr-o singură operație sau într-un singur agregat. De aceea în extracție se folosesc aproape întotdeauna *concentrate*. Dintre procedeele de concentrare amintim: sortarea manuală; concentrarea magnetică, electrostatică, gravitațională și *concentrarea prin flotație* bazată pe diferența dintre proprietățile fizice și chimice ale suprafețelor mineralelor. La flotație are loc separarea mineralelor utile prin antrenarea lor la suprafața tulburelii cu ajutorul unor spume produse prin adaosul unor reactivi chimici *(spumanți)* și prin agitarea tulburelii respective. Mai este necesar adaosul reactivilor *colectori*, care ameliorează proprietățile de flotabilitate naturală a particulelor minerale utile și adaosul unor reactivi *modificatori*, care creează mediul de flotație cel mai adecvat.

2.4.2. Metalurgia cuprului

Cuprul este unul din metalele neferoase cu largi utilizări în diverse domenii ale tehnicii. Se extrage din minereuri complexe. *Minereurile cuprifere* pot fi *sulfuroase* (exemplu piritele cuprifere) sau *oxidice*. Conținutul de cupru fiind foarte scăzut (1 . . . 3,5%), este necesară o preparare complexă, bazată, în special, pe flotație și prăjire. Concentratul pulverulent de cupru este introdus în cuptoare de prăjire cu vetre poli-etajate (fig. 2.35), încălzite prin folosirea căldurii rezultată din arderea sulfului din minereuri. Concentratul astfel obținut conține 15 . . . 30% cupru. După prăjirea oxidantă, uneori, se aplică și o operație de aglomerare.

A. **Extragerea cuprului din concentrate** se realizează prin metode pirometalurgice sau hidrometalurgice.

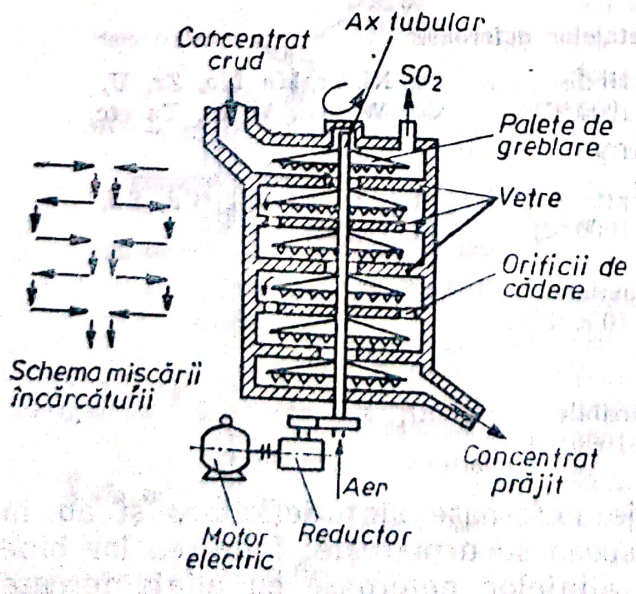


Fig. 2.35. Cuptor de prăjire cu vetre multiple, pentru minereurile de cupru.

a — Metoda pirometalurgică, schematic prezentată în figura 2.36, constă din: *1 — oxidarea concentratelor de sulfuri cuproase* în cuptoare orizontale cu vatră sau cu bandă transportoare, împreună cu fondanți și cocs; *2 — obținerea matei de cupru* (un amestec de sulfuri de Cu și de Fe, conținînd 30 . . . 55% Cu), care se realizează în cuptoare verticale cu cuvă (fig. 2.37) sau în cuptoare cu vatră. Prin reacțiile complexe care au loc în cuptor se urmărește eliminarea parțială a sulfului și a fierului. În prezent s-a dezvoltat topirea în pat fluidizat (în suspensie) a concentratelor cuproase fo-

Scanned with OKEN Scanner

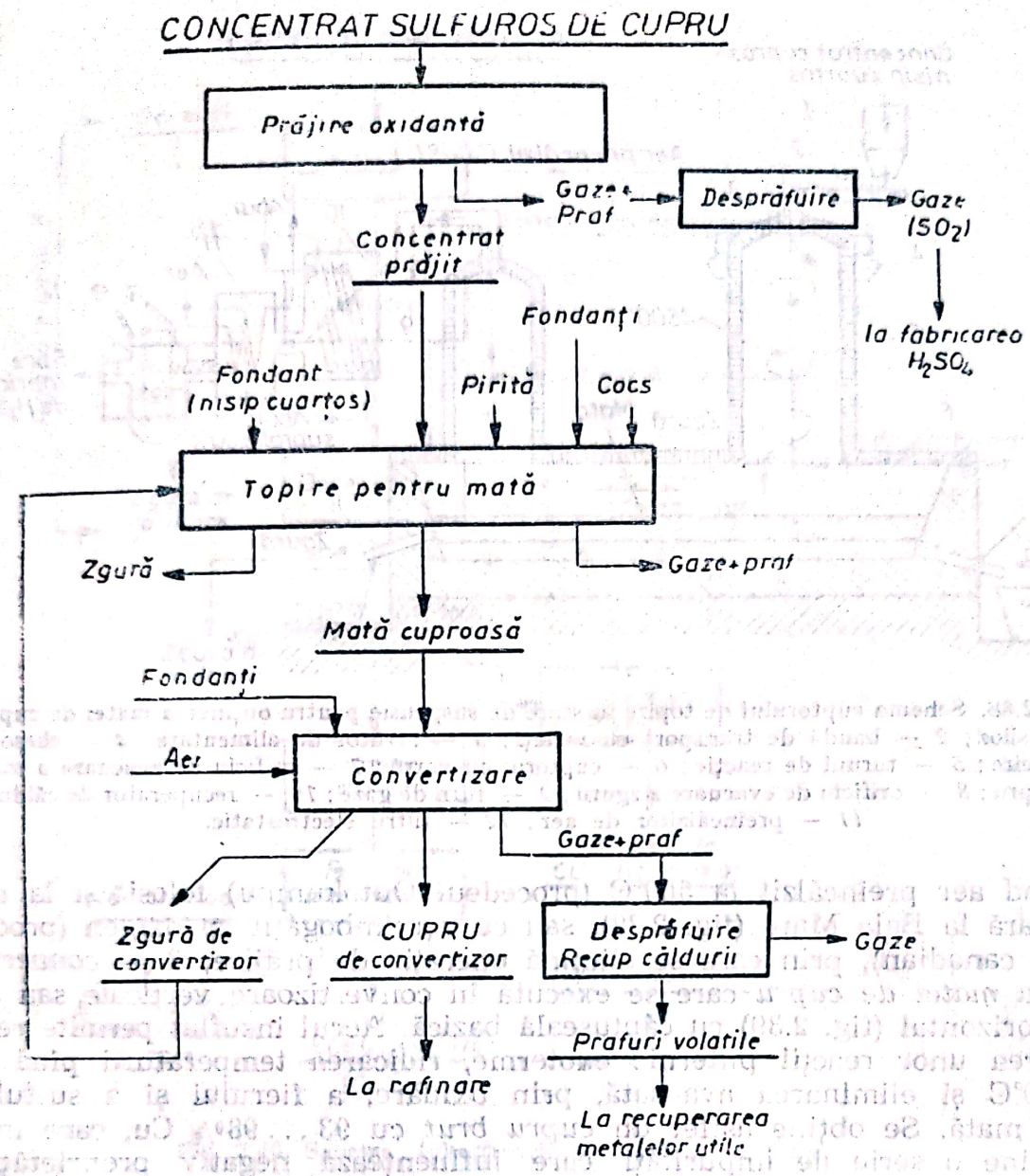


Fig. 2.36. Schema tehnologică a obținerii cuprului de convertizor prin metoda pirometalurgică.

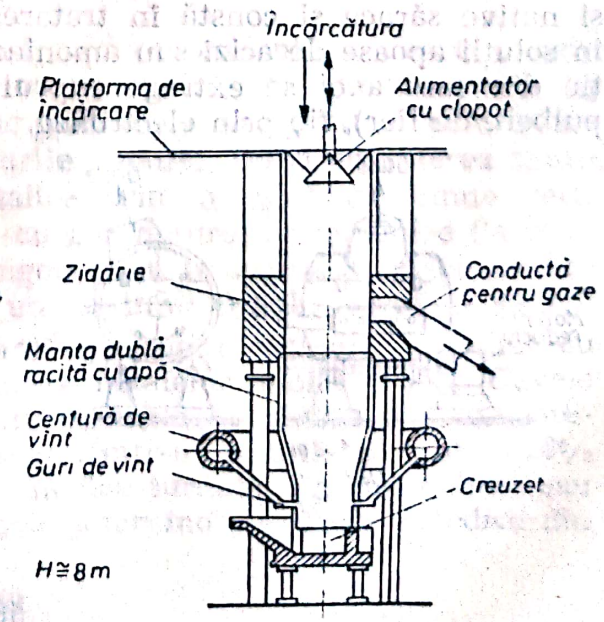


Fig. 2.37. Cuptor cu cuvă pentru obținerea matei de cupru.

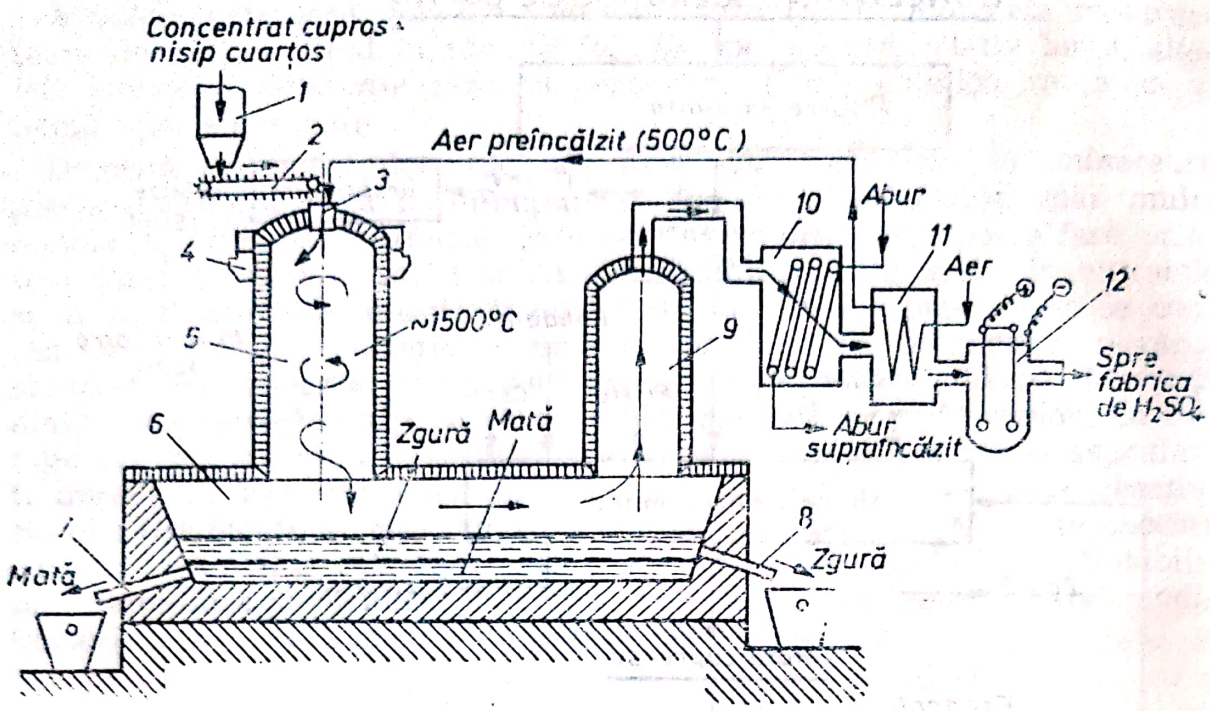


Fig. 2.38. Schema cuptorului de topire în stare de suspensie pentru obținerea matei de cupru: *1* — siloz; *2* — bandă de transport cu racleți; *3* — arzător de alimentare; *4* — chesoane de răcire; *5* — turnul de reacție; *6* — cuptorul cu vatră; *7* — orificiu de evacuare a matei de cupru; *8* — orificiu de evacuare a zgurii; *9* — turn de gaze; *10* — recuperator de căldură; *11* — preîncălzitor de aer; *12* — filtru electrostatic.

losind aer preîncălzit la 500°C (procedeul Outokumpu) folosit și la noi în țară la Baia Mare (fig. 2.38), sau cu aer îmbogățit cu oxigen (procedeul canadian), prin care se elimină operația de prăjire; *3 — convertizarea matei de cupru* care se execută în convertizoare verticale sau de tip orizontal (fig. 2.39) cu căptușeală bazică. Aerul insuflat permite realizarea unor reacții puternic exoterme, ridicarea temperaturii pînă la 1200°C și eliminarea avansată, prin oxidare, a fierului și a sulfului din mată. Se obține astfel un *cupru brut* cu 93 ... 98% Cu, care însă conține o serie de impurități care influențează negativ proprietățile fizico-mecanice ale acestuia (As, Sb, Fe etc.), precum și metale nobile și rare (Au, Ag, Se).

b — Metoda hidrometalurgică se aplică îndeosebi minereurilor oxidice și native sărace și constă în tratarea minereurilor de cupru sfărîmate, în soluții apoase de acizi sau amoniac *(leșiere)*, care dizolvă cuprul, soluție din care apoi se extrage cuprul fie prin precipitare (cimentare cu pulbere de fier), fie prin electroliză.

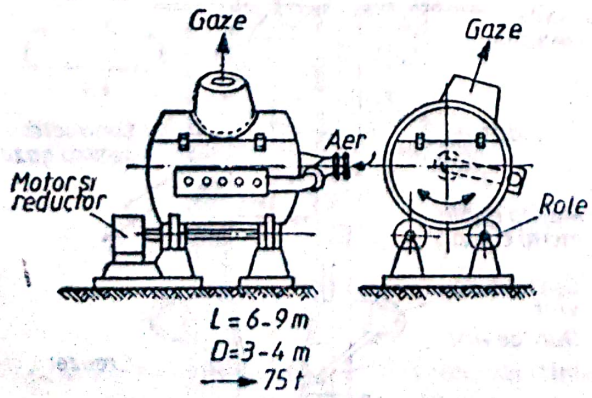


Fig. 2.39. Convertizor cilindric orizontal pentru obținerea cuprului brut din mată.

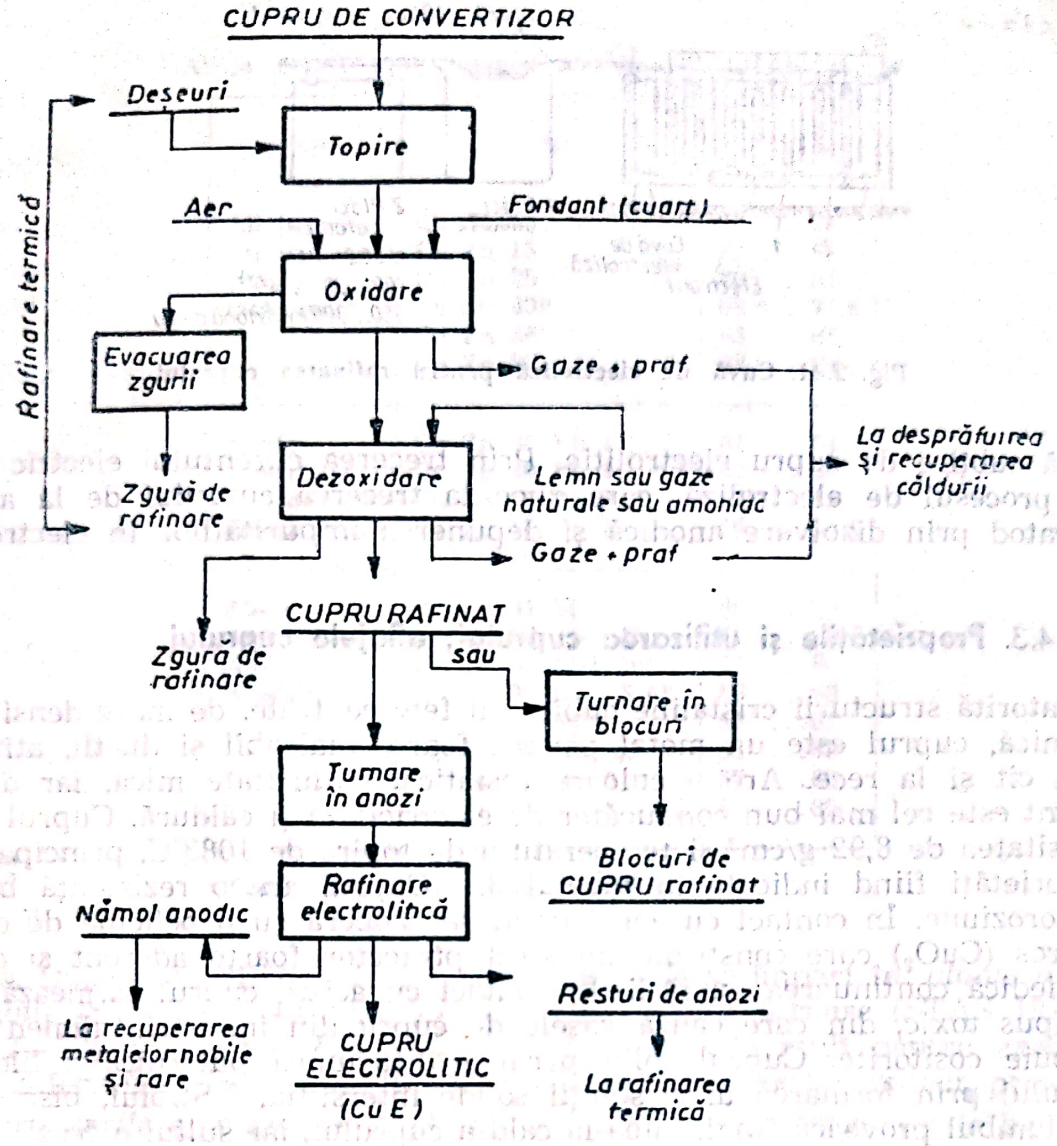


Fig. 2.40. Schema tehnologică a rafinării cuptorului.

B. Rafinarea cuprului brut se poate realiza pe cale termică și electrolitică conform schemei din figura 2.40.

a — Rafinarea termică are la bază topirea oxidantă a cuprului prin insuflarea aerului comprimat în baia metalică. La temperatura de 1130...1150°C o parte din oxizii impurităților se zgurifică prin adaos de fondant, iar o parte trece în prafurile volatile. După eliminarea zgurii se efectuează dezoxidarea băii metalice prin „perșaj" cu lemne verzi de mesteacăn sau plop sau reducere cu gaz natural ori amoniac (la circa 1100°C). Se livrează sub formă de lingouri sau se toarnă în plăci anodice pentru rafinare electrolitică, avînd un conținut de Cu de 99...99,5%.

b — Rafinarea electrolitică se face cu scopul obținerii cuprului cu puritate ridicată (99,99%) și recuperarea metalelor nobile și rare. Cuvele de electroliză (fig. 2.41) sînt căptușite cu tablă de plumb sau cu materiale plastice. Electrolitul este format dintr-o soluție de 10...16% $CuSO_4$ și 10...16% H_2SO_4. Plăcile anodice turnate din cupru brut sau rafinat termic, sînt suspendate în cuvă, alternînd cu plăcile catodice din

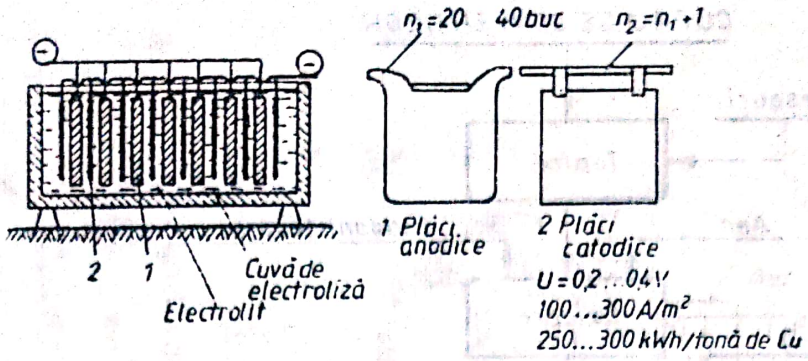


Fig. 2.41. Cuvă de electroliză pentru rafinarea cuprului.

tablă subțire de cupru electrolitic. Prin trecerea curentului electric are loc procesul de electroliză, care duce la trecerea cuprului de la anod la catod prin dizolvare anodică și depunerea impurităților în electrolit.

2.4.3. Proprietățile și utilizarea cuprului; aliajele cuprului

Datorită structurii cristaline cubice cu fețe centrate, de mare densitate atomică, cuprul este un metal plastic, foarte maleabil și ductil, atît la cald cît și la rece. Are o culoare roșiatică, o duritate mică, iar după argint este cel mai bun conducător de electricitate și căldură. Cuprul are densitatea de 8,92 g/cm³ și temperatura de topire de 1083°C, principalele proprietăți fiind indicate în tabelul 3.1. Cuprul are o rezistență bună la coroziune. În contact cu aerul uscat se acoperă cu o peliculă de oxid cupros (CuO_2) care constituie un strat protector foarte aderent și care împiedică continuarea oxidării. În contact cu acizii, cuprul formează un compus toxic, din care cauză vasele de cupru din industria alimentară trebuie cositorite. Cuprul solid permite difuziunea puternică a hidrogenului prin formarea unor soluții solide interstițiale. Stibiul, bismutul și plumbul provoacă fragilitatea la cald a cuprului, iar sulful o fragilitate la rece.

Se utilizează atît în stare pură cît și sub formă de aliaje. Cei mai mari consumatori de cupru sînt industria electrotehnică și termotehnică (schimbătoare de căldură, radiatoare, serpentine etc.). Conductivitatea cuprului este puternic influențată de cele mai mici cantități de impurități, pe care le conține, de prelucrările mecanice (ecruisare) și de tratamentele termice la care a fost supus. Cuprul tare ($R \cong 380$ N/mm²) se întrebuințează la confecționarea conductorilor cu rezistență mecanică relativ ridicată, cu duritate mare și cu bună rezistență la uzare, de exemplu pentru conductorii liniilor aeriene, a celor de alimentare a locomotivelor electrice etc. Se mai folosește și ca element de aliere în oțeluri, mărind limita de curgere, rezistența la coroziune și călibilitatea. În industria constructoare de mașini se utilizează mult sub formă de aliaje.

Aliajele cuprului sînt: alamele, bronzurile și aliajele speciale.

Alamele sînt aliajele cuprului cu maximum 47% Zn; fiind de două tipuri: *alame simple* (Cu—Zn) și *alame speciale* care conțin în plus și alte elemente de aliere (Pb, Al etc.) pentru a le îmbunătăți proprietățile. Alamele au proprietăți mecanice și tehnologice suficient de ridicate, superioare celor ale cuprului și o bună stabilitate la coroziune. Alamele în care cuprul depășește 80% se numesc *tombac*, fiind foarte malea-

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 2.2

Aliaje cupru—zinc (alame) deformabile STAS 95—80

Grupa	Mărci	Cu[%]
Aliaje cupru zinc fără plumb	Cu Zn 10	89 ...91
	Cu Zn 15	84 ...86
	Cu Zn 20	79 ...81
	Cu Zn 30*	68,5...71,5
	Cu Zn 36	63 ...65
	Cu Zn 37	62 ...64
Aliaje cupru zinc cu plumb	Cu Zn 36 Pb 1	61 ...64
	Cu Zn 39 Pb 2	57 ...60
	Cu Zn 39 Pb 3	57 ...59
	Cu Zn 40 Pb 1	59 ...61,5
Aliaje cupru zinc speciale	Cu Zn 31 Si	66 ...70
	Cu Zn 36 AlMnFe	58 ...62
	Cu Zn 38 Pb2Mn2	57 ...60
	Cu Zn 39 Mn 1,5 Al	56 ...60
	Cu Zn 39 Ni 3	57 ...61
	Cu Zn 40 Mn 3,5	53 ...58
	Cu Zn 42 Mn 3 Al	57 ...60
	Cu Zn 42 Mn 3 Al 2	57 ...60

* Poate conține As = 0,02 ...0,06%

bile. După posibilitățile de prelucrare alamele se împart în: *alame deformabile* (STAS 95—80, tab. 2.2) și *alame pentru turnare* (STAS 199/1—80/2—73). În electrotehnică alamele sînt utilizate mult pentru executarea diferitelor piese conducătoare de curent ca: piese de contact, prize etc.

Bronzurile sînt aliajele cuprului cu staniu sau cu alte metale în afară de zinc. Cele mai utilizate sînt:

1. *Bronzurile cu staniu* conțin maxim 25% staniu, procentaj peste care devin dure și fragile. Au o rezistență mecanică superioară cuprului pur, o rezistență bună la frecare și coroziune. Sînt *bronzuri de turnătorie* (STAS 197/1—80, /2—76), folosite pentru piese supuse la uzură și *bronzuri deformabile* (STAS 93—80, tab. 2.3) utilizate pentru arcuri, membrane, diferite armături etc.

2. *Bronzurile cu aluminiu* (maxim 10% Al) au proprietăți mecanice și tehnologice foarte bune, au rezistență ridicată la uzare, o bună con-

Tabelul 2.

Aliaje cupru-staniu (bronzuri obișnuite) deformabile STAS 93—80

Mărci	Compoziție [%]				
	Sn	P	Pb	Zn	Cu
Cu Sn 6	5,0—7,0	0,01—0,04	—	—	rest
Cu Sn 8	7,0—9,0	0,01—0,40	—	—	rest
Cu Sn 4 Pb 4 Zn 4	3,0—5,0	max. 0,03	3,5—4,5	3,0—5,0	rest

Scanned with OKEN Scanner

ductivitate electrică și termică, un coeficient mic de frecare și o rezistență foarte bună la coroziune, superioară bronzurilor cu staniu.

3. *Bronzurile cu plumb* (4—35% Pb), sînt utilizate ca materiale antifricțiune.

4. *Bronzurile cu siliciu* (0,5—4,5% Si), au proprietăți mecanice bune și rezistență ridicată la coroziune.

5. *Bronzurile cu mangan* (5—15% Mn și uneori cu adaosuri de Sn, Ni, Al, Si) își păstrează rezistența mecanică și la temperaturi relativ ridicate, 400—450°C, fiind utilizate pentru conducte și armături de aburi supraîncălziți.

6. *Bronzurile cu beriliu* (2—4% Be) sînt folosite în industria electrotehnică, pentru fabricarea conductorilor cu proprietăți mecanice superioare.

7. *Bronzurile cu cadmiu* (0,8% Cd și 0,6% Sn) sînt folosite la conductori electrici, cu proprietăți mecanice foarte bune.

Aliajele speciale sînt: *constantanul* (60% Cu și 40% Ni); *nichelina* (68% Cu și 32% Ni) și *manganina* (41% Ni, 1% Mn și 58% Cu), toate trei fiind folosite în electrotehnică ca aliaje cu rezistivitate electrică ridicată; *aliajele maillechort* cu 15 . . . 30% Ni și restul Cu, sînt utilizate în termotehnică pentru fabricarea țevilor de condensatoare rezistente la coroziune și temperaturi ridicate.

Aliajul monel (66 . . . 68% Ni, 27 . . . 30% Cu și 4 . . . 5% alte elemente ca: Mn, Fe etc.) are proprietăți mecanice bune și o rezistență foarte bună la coroziune.

Aliajele Cu — Ni — Zn cunoscute sub diverse denumiri ca: *alpaca, neusilber* și *argentan,* se pot prelucra bine prin deformare plastică la cald și la rece și au o bună rezistență la coroziune.

2.4.4. Metalurgia aluminiului

Aluminiul este considerat metalul predominant în epoca contemporană. Deși aluminiul se găsește în natură aproape în toate rocile, pentru elaborarea lui se utilizează numai *bauxitele* conținînd aluminiul sub formă de oxid hidratat $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$. Se mai folosește și *criolita* ($AlF_3 \cdot 3NaF$), care în stare naturală se găsește numai în Groenlanda. Ea se obține azi, de obicei, pe cale artificială.

Elaborarea aluminiului metalic din minereuri prezintă mari dificultăți din cauza afinității foarte mari a aluminiului față de oxigen. Oxizii de aluminiu nu pot fi reduși cu H_2, C sau CO, cum se procedează la extragerea multor metale. Elaborarea aluminiului are loc în două faze: prepararea aluminei și electroliza aluminei.

Prepararea aluminei. În prezent peste 90% din producția mondială de aluminiu se obține din bauxite, prin *procedeul Bayer* de producere a oxidului Al_2O_3 *(alumina)* urmată de electroliza acesteia din săruri topite. Sînt utilizate bauxitele cu conținut mic de silice. Procedeul Bayer cuprinde următoarele operații: sfărîmarea și măcinarea bauxitelor și a adaosului de var în prezența soluțiilor de recirculare concentrate, la care se adaugă sodă caustică, obținîndu-se pulpa crudă; leșierea pulpei în autoclave la 200 . . . 400 N/cm², cu formarea aluminatului de sodiu solubil în apă, urmată de diluarea cu ape de spălare a nămolului; separarea soluției de aluminat de nămolul roșu prin decantare și filtrare, spălarea nămolului roșu în vederea recuperării soluției de aluminat îmbibată și

Scanned with OKEN Scanner

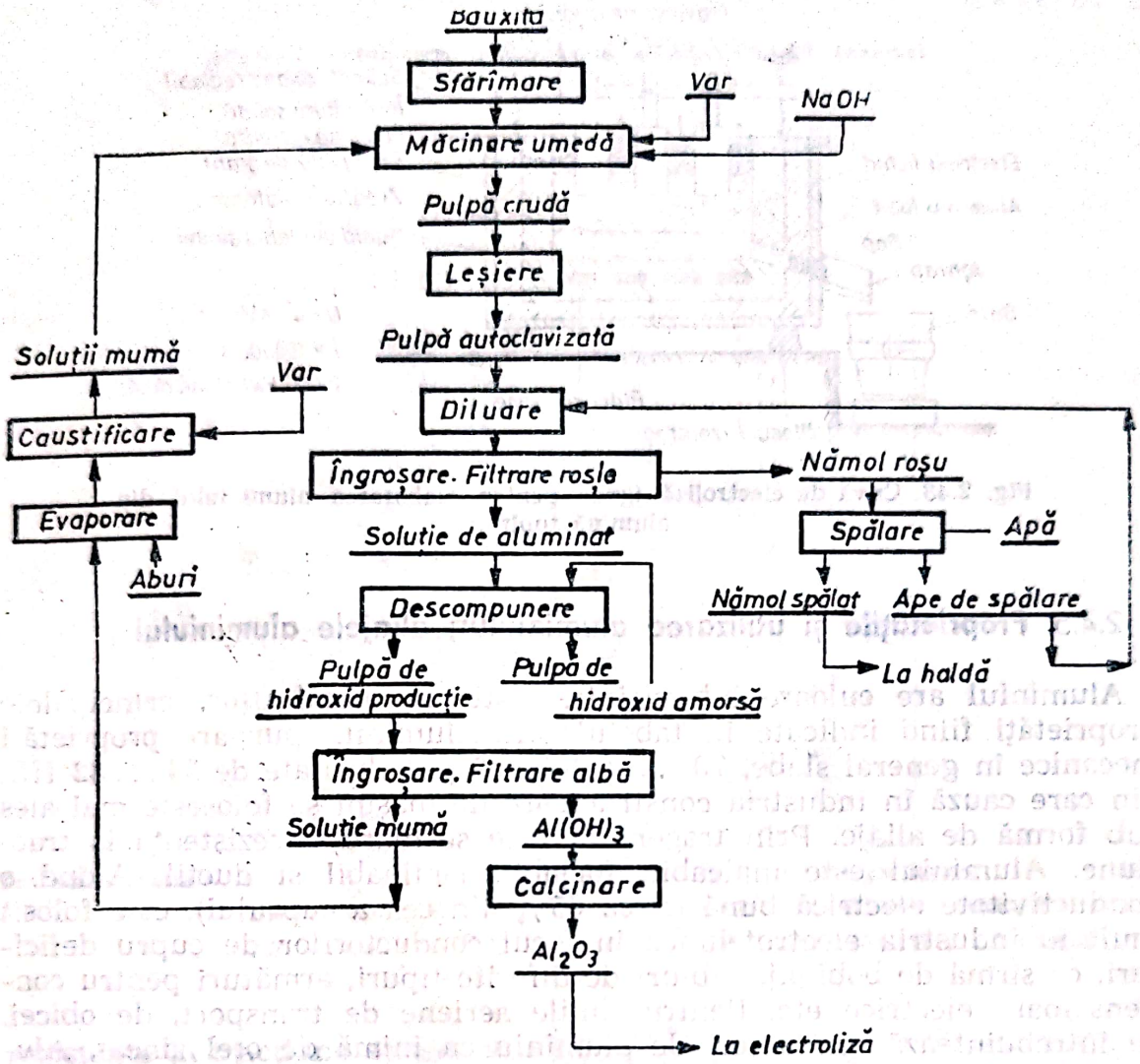


Fig. 2.42. Schema tehnologică a fabricării aluminei din bauxită prin metoda Bayer.

separarea apelor de spălare, nămolul evacuîndu-se la haldă; descompunerea soluției de aluminat, care include: diluarea și răcirea soluției, introducerea adaosului de amorsă, filtrarea și recuperarea soluțiilor mume; calcinarea hidroxidului de aluminiu, obținîndu-se produsul finit și concentrarea soluțiilor mume cu separarea, calcinarea și caustificarea sodei. Schema tehnologică a acestui procedeu este dată în figura 2.42.

Electroliza aluminei se realizează în cuve de electroliză la o temperatură de circa 950°C. Cuptorul pentru electroliza ignee este prezentat în figura 2.43. Electrolitul este alumina în proporție de peste 80%, dizolvată în criolită sintetică topită, împreună cu fondanți. Prin trecerea curentului electric alumina se descompune, dînd aluminiu metalic, care migrează spre catod și fiind mai greu, se depune la fundul cuvei. Oxigenul aluminei migrează la anozii incandescenți, unde se combină cu o parte din carbonul electrodului incandescent, formînd CO_2 și CO, ce se degajă, conducînd la un consum foarte mare de electrozi (0,5 . . . 0,7 tone electrozi/1 tonă aluminiu).

Rafinarea aluminiului se face prin retopire în cuptoare cu flacără, sau în cuptoare electrice cu creuzet, sau printr-o nouă electroliză a aluminiului brut, puritatea ajungînd astfel pînă la 99,999% aluminiu.

Scanned with OKEN Scanner

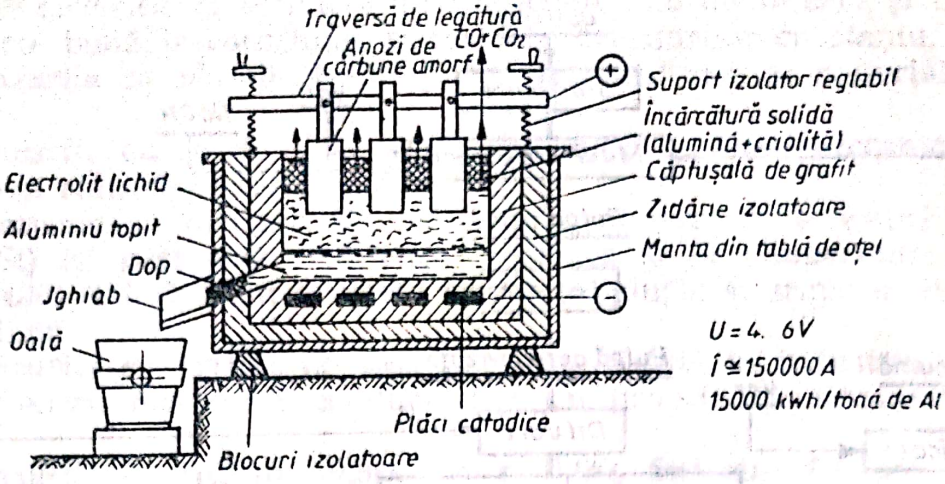


Fig. 2.43. Cuvă de electroliză ignee pentru elaborarea aluminiului din alumină topită.

2.4.5. Proprietățile și utilizarea aluminiului; aliajele aluminiului

Aluminiul are culoare alb-argintie, este un metal ușor, principalele proprietăți fiind indicate în tabelul 3.1. Aluminiul pur are proprietăți mecanice în general slabe, 70 . . . 90 N/mm² și o duritate de 24 . . . 32 HB, din care cauză în industria constructoare de mașini se folosește mai ales sub formă de aliaje. Prin tragere la rece se mărește rezistența la tracțiune. Aluminiul este maleabil, forjabil, laminabil și ductil. Avînd o conductivitate electrică bună (circa 65% din cea a cuprului), este folosit mult în industria electrotehnică în locul conductorilor de cupru deficitari, ca sîrmă de bobinaj, cabluri de diferite tipuri, armături pentru condensatoare electrice etc. Pentru liniile aeriene de transport, de obicei, se întrebuințează conductori de aluminiu cu inimă de oțel zincat. Aluminiul rezistă foarte bine la coroziune atmosferică, acoperindu-se cu o peliculă protectoare de oxid foarte subțire și aderent. Dezavantajos este faptul că aluminiul în contact cu alte metale, sub influența umezelii, se distruge repede prin *coroziune electrochimică*. Aluminiul este atacat puternic de soluțiile alcaline, care îl dizolvă. Rezistă în schimb bine față de o serie de agenți chimici și de acizi organici. Este foarte avid de oxigen, prin ardere dezvoltînd o temperatură de peste 2500°C, proprietate folosită în aluminotermie și la sudarea cu termit. Aluminiul mai este folosit în metalurgie, în industria alimentară, la fabricarea anumitor vopsele, pigmenți etc. În industria constructoare de mașini din aliaje de Al se fac: pistoane, blocuri de motoare, chiulase, cartere, fuzelajul avioanelor etc.

Aliajele aluminiului folosite în industrie sînt grupate în două categorii:

a — Aliaje de aluminiu pentru turnătorie (STAS 201/1,2—80) sînt aliaje Al—Cu, Al—Si, Al—Mg sau aliaje polinare. Aliajele Al—Si (silumin) sînt cele mai răspîndite pentru turnătorie, folosite pentru pistoane la motoarele cu explozie, pentru turnarea pieselor complicate și altele;

b — Aliaje de aluminiu deformabile (STAS 7608—80, tab. 2.4); cel mai cunoscut este *duraluminiul*, un aliaj Al—Cu—Mg—Mn, cu 3,8 . . . . . 4,8% Cu; 0,4 . . . 0,8% Mg; 0,4 . . . 0,8% Mn, sub 0,7% Si, sub 0,7% Fe și restul aluminiu. Prin călire în apă de la 500°C și îmbătrînire naturală,

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 2.4

Aliaje de aluminiu deformabile STAS 7608-80 (extras)

Grupa	Mărci	Tratament termic
Al—Mn	Al Mn 1	O
	Al Mn Mg	O
Al—Mg	Al Mg 1	O
	Al Mg 2,5	O
	Al Mg 3	O
	Al Mg 5	O
	Al Mg Si	O; TF
	Al Mg 1 Si Cu Cr	O; TF; TB
Al—Cu	Al Cu2Mg1, 5Ni1, 3FeSi	O; TF
	Al Cu 4 Mg Mn	O; TB
	Al Cu 4 Mg 1,5 Mn	O; TB; TF
Al—Zn	AlZn6Mg2,5Cu1,5	O; TF
Al—Si	Al Si 1 Mg Mn	O; TF
	Al Si 1 Mg Mn Ti	O; TF

Tratament termic: O — recoacere de recristalizare sau de omogenizare.
TB — călire pentru punere în soluție + îmbătrînire naturală.
TF — călire pentru punere în soluție + îmbătrînire artificială.

rezistența la tracțiune ajunge pînă la 500 N/mm² și duritatea la 150 HB. Se poate forja și lamina. Deoarece nu rezistă la coroziune, atunci cînd este necesar, se placează cu aluminiu pur. Se folosește foarte mult în construcția avioanelor, a motoarelor de aviație, în construcțiile electrotehnice și altele.

2.4.6. Proprietățile și utilizarea magneziului; aliajele magneziului

Magneziul, de culoare alb-argintie, este cel mai ușor dintre metalele uzuale ($1{,}74 \cdot 10^{-3}$ kg/cm³). Este maleabil și ductil, se poate turna, lamina și forja. Este avid de oxigen și nu rezistă la agenții chimici și atmosferici. În mediu umed poate să se aprindă cu explozie. Este folosit ca dezoxidant în metalurgie și ca element de inoculare la fabricarea fontelor globulare. Este folosit la fabricarea rachetelor luminoase.

Se cunosc aliaje de magneziu pentru turnătorie și aliaje de magneziu laminabile. Cel mai important este aliajul Mg—Al—Mn—Cu—Zn numit *electron*, cu densitatea de circa $1{,}8 \cdot 10^{-3}$ kg/cm³.

Aliajele de magneziu se întrebuințează în construcțiile aeronautice, la autovehicule, în electrotehnică și radiotehnică, pentru carcase de mașini electrice, piese de aparate radio, de telefoane etc.

Scanned with OKEN Scanner

2.4.7. Proprietățile și utilizarea plumbului

Plumbul are o culoare cenușie albăstruie, o densitate mare, de $11{,}34 \cdot 10^{-3}$ kg/cm^3, topindu-se la o temperatură scăzută: 327°C. Este un metal foarte moale (~ 5 HB), foarte maleabil, dar nu este aproape deloc ductil. Se poate lamina și extruda bine la rece și la cald, se poate turna ușor. Conductivitatea electrică este foarte mică, de numai 10,7% din aceea a argintului. Are o rezistență foarte bună la coroziune, atît contra agenților atmosferici cît și contra acizilor clorhidric, sulfuric etc. și contra sărurilor de amoniu, sodiu etc. În contact cu apa și în medii umede, la suprafață se formează un strat subțire de oxid și carbonat, care va proteja plumbul de coroziune în continuare. Plumbul are numeroase întrebuințări în tehnica modernă: în electrotehnică (învelișuri protectoare pentru cabluri electrice subterane, plăci pentru acumulatori electrici, electrozi pentru instalații de electroliză etc.); în industria chimică; la elaborarea aliajelor (aliaje antifricțiune, aliaje pentru lipituri moi, aliaje ușor fuzibile); în industria poligrafică; pentru pereți opritori contra razelor Röntgen și a altor radiații, la aplicarea energiei nucleare etc.

2.4.8. Proprietățile și utilizarea staniului

Staniul are o culoare alb-argintie, densitatea $7{,}28 \cdot 10^{-3}$ kg/cm^3 și temperatura de topire de 232°C, cea mai joasă dintre metalele utilizate în industrie. Este foarte maleabil și ductil. La temperatura de 200°C devine casant, iar la temperaturi sub 18°C se transformă în pulbere („ciuma staniului"). Are o bună rezistență la coroziune, motiv pentru care este larg utilizat la acoperirea anticorosivă a oțelului și a altor metale. Este folosit mult la elaborarea aliajelor. Este folosit, de asemenea, la cositorirea conductorilor electrici de cupru, prin care se poate evita atacul cuprului de către sulful din cauciucul izolațiilor. Se cositoresc și tuburile extrudate de plumb pentru pastele de dinți, pastele din industria alimentară și farmaceutică etc.

2.4.9. Proprietățile și utilizarea zincului

Zincul are o culoare alb-albăstruie, densitatea $7{,}13 \cdot 10^{-3}$ kg/cm^3, temperatura de topire 419°C. Se toarnă bine, avînd însă proprietăți mecanice reduse și o fragilitate destul de mare, nu poate fi întrebuințat pentru fabricarea pieselor de mașini, decît sub formă de aliaje. În aer uscat zincul se oxidează la suprafață, formînd o peliculă superficială de oxid de zinc care îl protejează. În aer umed se formează o peliculă protectoare de hidrocarbonat de zinc. Din aceste motive este larg utilizat la acoperirea anticorosivă a tablelor, sîrmelor, țevilor, șuruburilor și cuielor de oțel (tabla zincată, sîrme zincate etc.) și a altor piese și obiecte de oțel, stratul de zinc fiind depus prin electroliză sau prin cufundare în baie de zinc topit. Zincul se mai folosește la fabricarea tablelor de zinc, utilizate ca material pentru acoperișuri, burlane, ornamente etc.; în industria poligrafică, pentru obținerea clișeelor de tipar prin zincografie; în electrotehnică, pentru fabricarea bateriilor uscate; la elaborarea numeroaselor aliaje ca: alame, alpaca, aliaje antifricțiune, aliaje Zn-Al, Zn-Al-Cu etc.; în industria vopselelor ca alb de zinc (ZnO).

Scanned with OKEN Scanner

2.4.10. Proprietățile și utilizarea altor metale neferoase

a — *Nichelul* are o culoare alb-cenușie, densitatea de $8,9 \cdot 10^{-3}$ kg/cm³ și se topește la 1455°C. Este tenace, maleabil și ductil, are o rezistență mare la rupere, de 500 . . . 650 N/mm² și o alungire mare, de 15 . . . 20%. Se poate bine lamina, forja și trage în fire foarte subțiri. Este magnetic pînă la temperatura de 352°C. Are o rezistență la coroziune foarte bună, nu se oxidează în aer sau în apă la temperatura ambiantă, fiind larg întrebuințat la protejarea anticorosivă a metalelor. Nichelul se întrebuințează în tehnică la realizarea straturilor protectoare anticorosive; în industria chimică la obținerea unor catalizatori de mare importanță; în metalurgie ca un deosebit de important element de aliere a oțelurilor și fontelor, mărind rezistența mecanică, tenacitatea, rezistența la coroziune, fiind la baza elaborării și a oțelurlor cu un coeficient de dilatare aproape zero pînă la 100°C (invar), a oțelurilor inoxidabile, refractare etc.; — în electrotehnică și electronică la fabricarea diferitelor elemente de încălzire pentru cuptoare electrice, a termocuplurilor și la elaborarea unor aliaje importante, cu mare permeabilitate magnetică (permalloy), aliaje pentru magneți permanenți (alnife, alnico, magnico etc.), aliaje cu rezistivitate ridicată (nichelina, nicromul, manganinul, constantanul) folosite pentru reostate și aparate de măsură electrică etc.

b — *Cobaltul* este un metal puțin răspîndit în natură și are proprietăți asemănătoare nichelului. Densitatea este de $8,8 \cdot 10^{-3}$ kg/cm³ și temperatura de topire 1495°C. Este foarte prețuit în tehnică ca element de aliere, dar este deficitar și scump. Este magnetic, forjabil și mai dur decît fierul. Cobaltul se folosește în industrie la elaborarea oțelurilor pentru magneți permanenți, a oțelurilor refractare și antiacide, a oțelurilor rapide etc. Cobaltul intră, de asemenea, în componența aliajelor dure sinterizate. Se mai folosește în industria sticlei și coloranților, la acoperiri metalice de protecție și decorative etc.

c — *Cromul* are o culoare albă-cenușie, densitatea de $7,1 \cdot 10^{-3}$ kg/cm³ și temperatura de topire 1903°C. Este foarte dur. Are o rezistență foarte bună la coroziune față de agenții atmosferici și chimici, ceea ce se explică prin formarea la suprafața metalului a unui strat foarte fin și aderent de oxid de crom. Cu azotul și carbonul formează nitruri și carburi cu duritate mare. Cromul se utilizează la elaborarea oțelurilor de construcții de înaltă rezistență, a oțelurilor antiacide și inoxidabile, precum și a oțelurilor termostabile și refractare. În aliere cu alte metale (Ni, Fe, Mn), cromul se folosește la confecționarea rezistențelor electrice și a sîrmelor pentru termocuple. Pe o scară largă este utilizat și la acoperiri galvanice, pentru cromarea pieselor de oțel sau fontă cu scopul de a mări concomitent rezistența la uzare și rezistența la coroziune și de a da produselor un aspect foarte plăcut.

d — *Manganul* este un metal de o culoare cenușie-albă, strălucitoare. Proprietățile principale sînt trecute în tabelul 3.1. Datorită afinității mari pentru oxigen, sulf și fosfor, se folosește în siderurgie ca dezoxidant, desulfurant și defosforant. Este folosit ca element de aliere la elaborarea unor oțeluri speciale (de exemplu oțelul manganos austenitic). Manganul este întrebuințat pe scară largă și ca element de aliere în alame, bronzuri, aliaje de aluminiu, aliaje de magneziu etc., cărora le mărește rezistența la coroziune și duritatea. În aliere cu cuprul este

Scanned with OKEN Scanner

folosit la fabricarea aliajelor pentru rezistențe electrice (manganinele, cu pînă la 30% Mn).

e — *Wolframul* are o culoare cenușie, asemănătoare oțelului. Densitatea este foarte mare, de $19{,}3 \cdot 10^{-3}$ kg/cm^3, iar temperatura de topire este deosebit de ridicată, 3377°C. Wolframul este un metal foarte scump și deficitar. Din cauza punctului de topire foarte ridicat, se întrebuințează la fabricarea filamentelor pentru becurile electrice și tuburile electronice, la fabricarea elementelor de încălzire prin rezistență a cuptoarelor electrice speciale pentru temperaturi foarte ridicate, pînă la 3000°C, la confecționarea anticatozilor tuburilor Röntgen și la fabricarea prin metodele metalurgiei pulberilor a diferitelor contacte electrice. De asemenea din wolfram sînt executați electrozi pentru procedeul de sudare arc-atom și diferite duze și piese speciale pentru motoarele cu reacție și de rachete. Cea mai largă întrebuințare o are însă wolframul sub formă de aliaje, intrînd în componența oțelurilor de scule, a oțelurilor rapide și a aliajelor dure sinterizate.

f — *Molibdenul* are o culoare cenușie, densitatea $10{,}2 \cdot 10^{-3}$ kg/cm^3 și temperatura de topire 2617°C. Proprietățile sale fizice și chimice sînt asemănătoare cu ale wolframului. Se topește la o temperatură mai scăzută și are o duritate mai mică decît wolframul, fiind totodată și mai puțin deficitar. Are o rezistență la coroziune destul de bună. Molibdenul metalic sub formă de sîrmă sau tablă, se folosește în electrotehnică și electronică la fabricarea suporților pentru filamentele becurilor electrice și a altor piese pentru tuburile electronice și tuburile Röntgen, iar sîrma și banda de Mo servesc drept rezistențe electrice pentru cuptoarele care se încălzesc la temperaturi pînă la 1700°C. Cel mai mare consum de molibden este însă la elaborarea oțelurilor aliate ternare și polinare, în care se introduce în cantități mai mici decît wolframul, avînd totuși un efect mai bun. Oțelurile cu molibden au o mare rezistență la temperaturi înalte, o bună rezistență la coroziune și fluaj, o rezilință ridicată și o bună rezistență la uzare. Sînt aliate cu molibden diferite calități de oțeluri de scule, oțeluri rapide, oțeluri inoxidabile, antiacide etc. Aliajele de Mo rezistente la acizi și temperaturi ridicate se utilizează la aparatele chimice, palete pentru turbocompresoare, precum și în tehnica rachetelor. Molibdenul se folosește și pentru aliaje de tipul nichel-crom pentru rezistențe electrice refractare, stabile la temperaturi ridicate și la elaborarea aliajelor pentru contactele electrice.

g — *Titanul* este un metal alb, strălucitor, cu o densitate mică, de numai $4{,}50 \cdot 10^{-3}$ kg/cm^3 și cu o temperatură ridicată de topire de 1665°C. Titanul poate fi considerat ca un metal al viitorului, datorită proprietăților sale excelente și datorită faptului că în natură se găsesc cantități foarte mari de minereuri de titan. Cu toate acestea nu a început să fie utilizat decît în ultimul timp din cauza greutăților întîmpinate la obținerea lui în stare pură. Titanul are o rezistență mecanică și o duritate ridicată, limita de elasticitate întrece 50% din rezistența de rupere, este ușor, prezintă o rezistență bună la coroziune, nu se corodează în apa mării, are o conductivitate termică relativ mică. Titanul se utilizează mai ales în aeronautică, navigație și în industria constructoare de automobile, datorită faptului că raportul între rezistența mecanică și greutatea specifică este mai mare decît la oțel și la aliajele ușoare de aluminiu. Se utilizează, de asemenea, în unele ramuri ale industriei chimice și petroliere, în instalațiile de producere a energiei nucleare și în electronică pentru absorbția gazelor din tuburile electronice cu vid. Titanul se uti-

Scanned with OKEN Scanner

lizează la elaborarea și alierea oțelurilor. Carbura de titan, avînd o duritate foarte mare, se utilizează în cantități însemnate la fabricarea aliajelor dure sinterizate cu proprietăți îmbunătățite. Bioxidul de titan se utilizează ca pigment alb în industria vopselilor, în industria cauciucului, a materialelor plastice, iar în stare naturală *(rutil)*, este folosit la fabricarea electrozilor de sudură (electrozi titanici).

h — *Zirconiul* este un metal plastic și rezistent, de culoare albă argintie. Are o densitate de $6{,}5 \cdot 10^{-3}$ kg/cm³ și o temperatură ridicată de topire de 1855°C. Proprietățile sale fizice și chimice sînt asemănătoare cu ale titanului. Zirconiul este foarte activ din punct de vedere chimic, îndeosebi în stare de pulbere, dar, pe de altă parte, în stare compactă, el este rezistent la coroziune. Este stabil la aer, iar la temperaturi de peste 400°C, se acoperă cu o peliculă protectoare de oxid. Nu este atacat de soluțiile alcaline. Analog cu titanul, la obținerea zirconiului în stare pură apar greutăți însemnate. La temperaturi mai ridicate, zirconiul absoarbe activ gazele, devenind casant și intră în reacție cu un număr mare de elemente, formînd soluții solide și compuși chimici (cu hidrogenul, azotul, oxigenul, halogenii, carbonul și sulful). În aer, la temperatura de 600 . . . 800°C, arde cu lumină strălucitoare și cu o degajare puternică de căldură. Zirconiul se utilizează ca adaos în oțelurile speciale, avînd rolul de a absorbi oxigenul și azotul, îmbunătățind astfel proprietățile mecanice și de a lega sulful, împiedicînd astfel ruperea la roșu a oțelului. Aliajele de cupru-zirconiu se utilizează la confecționarea electrozilor pentru sudarea prin puncte și la fabricarea cablurilor electrice speciale, deoarece adaosul de zirconiu la cupru îl face mai rezistent, fără însă să-i reducă sensibil conductivitatea electrică. Aliajele de magneziu-zirconiu-zinc se utilizează la motoarele cu reacție. Tabla de zirconiu este folosită la fabricarea tuburilor Röntgen și ca material de construcție pentru centrifuge, pompe și condensatoare utilizate în industria chimică, iar în ultimul timp, pentru reactoarele nucleare. Oxidul de zirconiu tehnic (ZrO_2), concentratele de zirconiu și amestecul de oxid de zirconiu cu oxid de magneziu, se folosesc pentru fabricarea materialelor refractare de înaltă calitate cu diferite destinații (creuzete înalt refractare, căptușeli de cuptoare etc.).

i — *Germaniul* este în prezent un foarte important material pentru tehnica semiconductoarelor. Este un metal alb-cenușiu, are densitatea de $5{,}32 \cdot 10^{-3}$ kg/cm³ și temperatura de topire 958°C. Fiind sfărămicios ca și siliciul, nu poate fi prelucrat prin laminare. Rezistivitatea electrică a germaniului este foarte mare (ca la toate materialele semiconductoare) și variază în funcție de temperatură, presiune și puritatea metalului, între 50 și 0,01 Ωcm. Cristalele de germaniu se folosesc în componentele electronice ca: redresori, tranzistoare sau diode cu cristal, termistoare, fotoelemente și helioelemente. Germaniul mai este utilizat și în anumite aliaje speciale: aliajele de Al—Ge sînt folosite la construirea catozilor tuburilor electronice, iar bronzurile de germaniu (Cu—Ge), care nu sînt atacate de acizi și în special de acidul azotic, sînt utilizate în industria chimică.

Scanned with OKEN Scanner

3

BAZELE STUDIULUI METALELOR, STUDIUL PROPRIETĂȚILOR METALELOR ȘI ALIAJELOR, TRATAMENTELE TERMICE ȘI TERMOCHIMICE, OȚELURILE CARBON ȘI CELE ALIATE

3.1. STUDIUL PROPRIETĂȚILOR METALELOR ȘI ALIAJELOR

3.1.1. Proprietățile metalelor și aliajelor

3.1.1.1. **Generalități și clasificarea proprietăților.** Metalele și aliajele constituie baza materială a tehnicii, iar domeniul de folosire este determinat de proprietățile lor.

Cunoașterea temeinică a proprietăților și a factorilor de care depind are o importanță deosebită pentru utilizarea optimă a materialelor. Folosirea diferitelor metale și aliaje în industria constructoare de mașini, în electrotehnică, în electronică etc., se sprijină nemijlocit pe valorile proprietăților materialelor metalice determinate prin încercări industriale standardizate, care pot fi încercări de laborator sau probe tehnologice uzinale.

Proprietățile materialului folosit influențează în mod determinant calculul de rezistență și calculul procesului tehnologic de prelucrare, precum și indicațiile de garanție în funcționare și de fiabilitate ale organului de mașină proiectat. Se deosebesc patru grupe de proprietăți: fizice, chimice, mecanice și tehnologice.

3.1.1.2. **Proprietățile fizice.** Aceste proprietăți caracterizează natura metalelor. Principalele proprietăți fizice ale metalelor și aliajelor sînt:

1 — greutatea specifică (γ) definită ca fiind greutatea unității de volum dintr-un material, adică $\gamma = \frac{G}{V}$, exprimată în N/m^3; Densitatea metalelor mai importante, împreună cu încă cîteva proprietăți fizice mai deosebite, este indicată în tabelul 3.1;

2 — temperatura de topire (punctul de topire, t în °C, T în K) este temperatura la care, sub acțiunea căldurii, la presiunea atmosferică, un metal pur trece din stare solidă în stare lichidă. În cazul aliajelor există un interval de topire. Din punctul de vedere al temperaturii de topire, metalele și aliajele se împart în: *ușor fuzibile* (se topesc la o temperatură mai coborîtă, de aproximativ 200—800°C) și *greu fuzibile* (se topesc la peste 800°C). Dintre metalele cunoscute, cel mai greu se topește wolframul (3377°C) și cel mai ușor potasiul la 63°C;

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.1

Proprietățile fizice ale unor metale

Denumirea	Numărul atomic	Simbolul	Densitatea [kg/cm³]	Temperatura de topire [°C]	Conductivitatea electrică $\left[S/m = \frac{1}{\Omega m}\right]$	Conductivitatea termică $\left[\frac{W}{m \cdot grd} = \frac{J}{m \cdot s \cdot grd}\right]$	Căldura latentă de topire [J/kg]	Căldura specifică (0—100°C) [J/kg·grd]	Coef. de dilatare liniară (la 0°C) [10^{-6} · 1/°C]	La tracțiune (în stare recoaptă) Limita de curgere $Rp0,2$ [N/mm²]	Rezistența Rm [N/mm²]	Alungire la rupere A [%]	Gîtuire la rupere Z [%]	Duritatea HB [daN/mm²]	Modulul de elasticitate E [daN/mm²]	Reziliența KCU [J/cm²]
Aluminiu	13	Al	$2,7 \cdot 10^{-3}$	660	$38,2 \cdot 10^{6}$	221,5	393 400	910,34	23,9	35	80	50	80	24	7 220	70
Argint	47	Ag	$10,5 \cdot 10^{-3}$	960	$62,5 \cdot 10^{6}$	453,0	108 700	250,82	19,7	29	177	60	—	25	8 160	—
Aur	79	Au	$19,3 \cdot 10^{-3}$	1063	$43,5 \cdot 10^{6}$	310,0	66 400	129,33	14,2	32	137	50	90	15	7 900	—
Beriliu	4	Be	$1,82 \cdot 10^{-3}$	1283	$15,2 \cdot 10^{6}$	184,0	1 428 000	1826,00	10,6	—	503	3	—	60	29 280	6
Bismut	83	Bi	$9,84 \cdot 10^{-3}$	271	$0,92 \cdot 10^{6}$	8,41	52 100	122,4	12,4	—	12	—	—	9,5	3 480	0,2
Cadmiu	48	Cd	$8,64 \cdot 10^{-3}$	321	$13,3 \cdot 10^{6}$	92,8	54 200	186,5	30,8	10	63	50	—	2,7	6 350	—
Cobalt	27	Co	$8,8 \cdot 10^{-3}$	1495	$15,4 \cdot 10^{6}$	96,5	259 100	418,2	12,3	—	130	3	2	50	21 280	9
Crom	24	Cr	$7,19 \cdot 10^{-3}$	1903	$35,8 \cdot 10^{6}$	88,6	263 500	448,3	6,2	—	172	—	1	69	29 000	2
Cupru	29	Cu	$8,92 \cdot 10^{-3}$	1083	$58,8 \cdot 10^{6}$	406,0	205 500	389,2	16,2	69	235	50	70	35	12 500	180
Fier	26	Fe	$7,87 \cdot 10^{-3}$	1538	$10,0 \cdot 10^{6}$	73,3	275 000	460,4	11,7	123	250	50	75	70	21 550	250
Germaniu	32	Ge	$5,32 \cdot 10^{-3}$	958	1,54	60,7	438 100	323,2	5,8	—	—	—	—	—	—	—
Magneziu	12	Mg	$1,74 \cdot 10^{-3}$	650	$25,0 \cdot 10^{6}$	172,5	379 000	1034,0	24,5	85	176	16	—	26	4 515	6
Mangan	25	Mn	$7,24 \cdot 10^{-3}$	1244	$0,388 \cdot 10^{6}$	157,0	266 300	480,2	22,0	—	706	—	—	19	20 160	25
Mercur	80	Hg	$13,55 \cdot 10^{-3}$	—38,87	$1,06 \cdot 10^{6}$	7,91	11 724	138,2	—	—	—	—	—	—	—	—
Molibden	42	Mo	$10,2 \cdot 10^{-3}$	2617	$20,0 \cdot 10^{6}$	130,6	288 200	248,5	2,7	438	640	46	36	140	33 630	—
Nichel	28	Ni	$8,9 \cdot 10^{-3}$	1455	$13,3 \cdot 10^{6}$	67,0	301 500	457,0	13,3	78	393	40	70	98	19 700	330
Platină	78	Pt	$21,45 \cdot 10^{-3}$	1770	$10,2 \cdot 10^{6}$	71,1	87 500	133,0	8,9	—	147	50	—	39	17 320	—
Plumb	82	Pb	$11,34 \cdot 10^{-3}$	327	$5,27 \cdot 10^{6}$	35,0	23 040	129,7	28,3	7	15	64	80	4,5	1 600	—
Staniu	50	Sn	$7,28 \cdot 10^{-3}$	232	$8,85 \cdot 10^{6}$	59,8	60 800	179,2	20,5	—	22	37	75	12	5 500	20
Stibiu	51	Sb	$6,69 \cdot 10^{-3}$	630	$2,56 \cdot 10^{6}$	18,8	165 200	207,6	10,5	—	7	—	—	29	5 600	—
Tantal	73	Ta	$16,6 \cdot 10^{-3}$	2997	$7,15 \cdot 10^{6}$	45,2	173 500	135,3	6,6	271	343	45	86	44	18 820	—
Titan	22	Ti	$4,50 \cdot 10^{-3}$	1665	$2,28 \cdot 10^{6}$	21,9	323 500	523,0	10,0	147	316	50	80	72	10 520	70
Uraniu	92	U	$19,0 \cdot 10^{-3}$	1130	$3,1 \cdot 10^{6}$	26,7	65 200	109,3	27,6	255	412	8	12	130	12 000	18
Vanadiu	23	V	$6,07 \cdot 10^{-3}$	1920	$5,5 \cdot 10^{6}$	31,0	351 200	487,2	8,5	360	343	17	30	63	15 000	—
Wolfram	74	W	$19,3 \cdot 10^{-3}$	3377	$20,0 \cdot 10^{6}$	134,0	191 600	127,8	2,4	750	1500	3	—	250	41 530	25
Zinc	30	Zn	$7,13 \cdot 10^{-3}$	419	$16,4 \cdot 10^{6}$	112,7	113 200	318,2	29,8	104	118	25	—	41	9 400	80
Zirconiu	40	Zr	$6,5 \cdot 10^{-2}$	1855	$2,0 \cdot 10^{6}$	29,5	251 400	276,2	10,0	118	275	15	43	64	6 970	22

Observație: $1 \cdot \frac{m}{\Omega \cdot mm^2} = 10^6 \frac{S}{m} = 10^6 \frac{1}{\Omega \cdot m}$.

Scanned with OKEN Scanner

3 — căldura specifică reprezintă cantitatea de căldură necesară ridicării temperaturii cu un grad a unui kg dintr-un material. Ea se exprimă în J/kg·grd.;

4 — căldura latentă de topire (sau solidificare) reprezintă cantitatea de căldură necesară topirii unui kg din materialul respectiv și se exprimă în J/kg. Căldura specifică și căldura latentă de topire, pentru metalele mai importante, sînt date tot în tabelul 3.1, aceste date fiind necesare, de exemplu, la calculul cuptoarelor de încălzire sau topire a metalelor;

5 — coeficientul de dilatare termică liniară (α) reprezintă cantitatea cu care se dilată în lungime 1 cm din acel corp, cînd i se ridică temperatura cu 1°C. Se determină cu relația: $\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta t}$, în care: l_0 este lungimea inițială; Δl — creșterea în lungime la o creștere a temperaturii cu Δt. Lungimea totală a corpului dilatat va fi: $l = l_0 + \Delta l = l_0(1 + \alpha \Delta t)$.

În intervalul (0—100)°C acest coeficient pentru fier este $1{,}17 \cdot 10^{-5}$, pentru aluminiu $2{,}39 \cdot 10^{-5}$; cel mai scăzut coeficient de dilatare este la aliajul cu 64% Fe și 36% Ni numit *invar* $0{,}15 \cdot 10^{-5}$, fiind folosit pentru construcția instrumentelor și a aparatelor de precizie, iar cele mai ridicate la Pb $2{,}83 \cdot 10^{-5}$, Zn $2{,}98 \cdot 10^{-5}$ și Cd cu $3{,}08 \cdot 10^{-5}$;

6 — conductivitatea termică reprezintă cantitatea de căldură care trece prin două suprafețe paralele de 1 m² ale materialului, distanțate la unitatea de lungime și avînd o diferență de temperatură de un grad, într-o secundă. Metalele, în comparație cu nemetalele, sînt foarte bune conducătoare de căldură. În industrie, în funcție de rolul lor, sînt folosite atît materialele bune conducătoare de căldură (ex. Cu și Al), cît și materialele termoizolante, cu conductivitate termică redusă (vată de sticlă, anumite tipuri de cărămidă refractară sau izolatoare etc.);

7 — conductivitatea electrică este proprietatea metalelor și aliajelor de a conduce curentul electric și se exprimă în S/m (Siemens/m). Cele mai conductibile metale, în ordine descrescîndă, sînt: Ag, Cu, Au, Cr, Al, W etc. Slab conductibile sînt: Fe, Hg, Pb, Ti. Conductivitatea electrică scade cu conținutul de impurități, cu gradul de deformare plastică la rece și cu ridicarea temperaturii. De asemenea, la temperaturi foarte scăzute, aproape de 0 K (—273°C), la metale și aliaje apare fenomenul de *supraconductivitate*, unde rezistivitatea scade aproape pînă la zero;

8 — forța termoelectromotoare este diferența de potențial electric, care apare la extremitățile libere a două fire metalice de natură diferită, sudate împreună, dacă capătul sudat este încălzit. Această caracteristică ajută la fabricarea termocuplelor pentru măsurarea temperaturilor înalte (Pt—PtRh, pînă la 1600°C ș.a.);

9 — proprietățile magnetice, foarte importante pentru industria electrotehnică, sînt următoarele: permeabilitatea magnetică, inducția remanentă, forța coercitivă, susceptibilitatea magnetică, magnetostricțiunea la saturație, temperatura Curie etc.

3.1.1.3. **Proprietățile chimice.** Aceste proprietăți exprimă capacitatea metalelor și aliajelor de a rezista la acțiunea diferiților agenți externi, cum sînt medii corosive, agenți atmosferici, temperaturi înalte. Dintre proprietățile chimice amintim:

1 — Rezistența la coroziune este proprietatea materialelor de a rezista față de substanțele chimice și față de agenții atmosferici. Distrugerea prin coroziune se poate produce pe cale chimică sau electrochimică. Rezistența la coroziune este hotărîtoare în alegerea materiale-

Scanned with OKEN Scanner

lor pentru utilaje, în special în industria chimică. Necesitățile în acest sens sînt satisfăcute de o gamă largă de oțeluri și fonte inoxidabile dar și de folosirea unor metode de protecție anticorosivă cum sînt: galvanizarea, metalizarea cu metale rezistente la coroziune, placarea, tratamente termochimice protectoare, vopsirea și lăcuirea, brunarea, fosfatarea etc.;

2 — refractaritatea este proprietatea chimică a materialelor metalice de a-și menține relativ bine caracteristicile mecanice la temperaturi ridicate și de a nu forma, la suprafața lor, un strat de oxizi metalici de profunzime sau exfoliant. Din această categorie se remarcă metalele și aliajele refractare și superrefractare.

3.1.1.4. **Proprietățile mecanice.** Proprietățile mecanice ale metalelor și aliajelor indică modul de comportare a acestora sub acțiunea diferitelor forțe exterioare la care sînt supuse.

1 — rezistența mecanică la rupere este proprietatea materialelor de a se împotrivi forțelor exterioare care tind să le distrugă, fiind considerată ca cea mai importantă proprietate a materialelor. Piesele metalice de mașini sînt supuse la diferite feluri de solicitări mecanice, cum sînt cele de tracțiune (întindere), compresiune, încovoiere, răsucire (torsiune) etc. Pentru fiecare mod de solicitare se determină limita de rezistență la rupere. Sub acțiunea forțelor exterioare, în interiorul metalelor se creează o stare tensională internă, care caută să echilibreze solicitarea externă. În figura 3.1 este dată schema solicitării la întindere.

Dacă forța de întindere F acționează perfect axial, atunci:

$$\alpha = 0^\circ;\ T = \sigma;\ \tau = 0,$$

iar din condiția de echilibru rezultă:

$$F = \Sigma T = \int \sigma \cdot dA,$$

unde: F este forța exterioară; T — efortul unitar; σ — tensiunea normală; τ — tensiunea tangențială; α — unghiul direcției tensiunii T față de normala pe planul secțiunii; A — aria secțiunii transversale a barei.

Dacă tensiunea T este uniform distribuită pe secțiunea A, adică $\sigma = \text{const.}$, atunci relația de mai sus devine:

$$F = \sigma \int dA = \sigma \cdot A \text{ și}$$

$$\sigma = \frac{F}{A}\ [\text{N/mm}^2].$$

În general însă tensiunea nu este uniform distribuită și atunci σ reprezintă o *tensiune medie*.

Rezistența la rupere este raportul dintre sarcina maximă (F_{max}) și aria secțiunii inițiale (S_0) a epruvetei, supuse la întindere:

$$R = \sigma_r = \frac{F_{max}}{S_0}\ [\text{N/mm}^2],$$

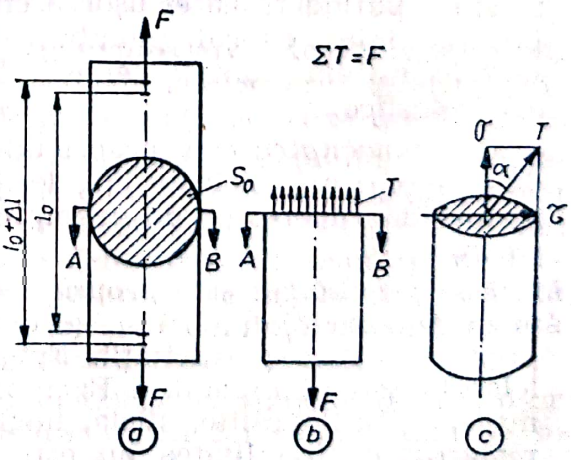


Fig. 3.1. Schema pentru solicitarea unei bare la întindere.

2 — *elasticitatea* este proprietatea metalelor și aliajelor de a se deforma sub acțiunea forțelor exterioare și de a reveni la forma lor inițială, după ce solicitarea care a produs deformația și-a încetat acțiunea. Majoritatea materialelor metalice sînt elastice, dar numai pînă la o anumită valoare a solicitării, numită *limită de elasticitate*. Convențional se admite că unele materiale, între anumite limite, sînt perfect elastice. Practic s-a dovedit însă că nu există materiale perfect elastice și că, în urma unei solicitări, chiar numai de o valoare mică, au loc și deformații permanente plastice foarte mici. În general, dacă nu se depășește așa-numita *limită de proporționalitate* (care are valoare mai mică decît cea de elasticitate), atunci deformația este proporțională cu sarcina și conform legii lui Hooke, avem:

$$\frac{\sigma}{\varepsilon} = E = \text{const},$$

unde: σ este tensiunea medie; ε — deformația specifică medie; E — *modulul de elasticitate* sau *modulul lui Young*.

Prin definiție, *limita de proporționalitate convențională* este efortul unitar. la care abaterea de la proporționalitate dintre tensiune și alungire atinge valoarea de 10% (σ_{10}), iar *limita de elasticitate convențională* este efortu, unitar la care alungirea remanentă atinge valoarea prescrisă de 0,01% ($\sigma_{0,01}$)

3 — *rigiditatea* este proprietatea materialelor de a se opune deformațiilor elastice și este contrară elasticității. Mărimea care reflectă capacitatea materialelor de a se opune deformărilor elastice, deci o măsură a rigidității, este modulul de elasticitate E.

4 — *plasticitatea* este proprietatea materialelor de a se deforma sub acțiunea sarcinilor exterioare, fără a mai reveni la forma inițială după îndepărtarea solicitării exterioare, rămînînd astfel permanent deformate. Din acest punct de vedere materialele metalice pot fi, fie plastice (ductile), fie fragile. *Materialele plastice* se pot prelucra ușor prin deformare la rece sau la cald (laminare, forjare, matrițare, tragere etc.) și permit atenuarea concentrării locale a tensiunilor prin deformații plastice, ceea ce duce la îndepărtarea pericolului de fisurare. În cazul *materialelor* fragile, care au tensiuni interne, prin operația de deformare se provoacă creșterea acestor tensiuni care, la un moment dat, depășesc limita de rupere și materialul se rupe fragil. Majoritatea metalelor și aliajelor sînt plastice, putînd fi astfel ușor prelucrate prin deformare plastică (ex. oțelul, aluminiul, cuprul, plumbul) dar sînt și metale și aliaje fragile *(casante)* cum sînt fontele cenușii, fonta albă etc., care nu suportă deformări plastice.

5 — *tenacitatea* este proprietatea metalelor și aliajelor de a rezista la diferite eforturi, inclusiv la cele dinamice (prin șoc), deformîndu-se mult înainte de rupere, ca de exemplu: oțelul moale, cuprul, aluminiul, alama etc.

6 — *fragilitatea* este proprietatea materialelor de a se rupe brusc sub acțiunea sarcinilor, fără să se deformeze plastic în prealabil. Este proprietatea opusă plasticității. Fragilitatea micșorează rezistența materialelor la sarcini dinamice. Exemple de materiale fragile sînt: fonta cenușie, oțelurile călite, sticla, unele metale pure ca: Bi, Sb, Mg etc. De remarcat că fragilitatea nu este o proprietate absolută a materialului, ea poate să apară sau să dispară în raport cu factorii care influențează procesul deformării. Astfel, W care la temperatura ambiantă este fragil,

Scanned with OKEN Scanner

devine plastic și ductil la temperaturi înalte. O mare influență asupra comportării fragile o au concentratorii de eforturi (crestăturile), precum și viteza de deformare sau temperaturile joase.

7 — duritatea este proprietatea materialelor de a opune rezistență la pătrunderea, în suprafața lor, a unui corp din exterior, mai dur și nedeformabil. Ea caracterizează rezistența la deformații superficiale și, respectiv, *rezistența la uzare.*

Factorii care determină duritatea sînt: natura materialului metalic (compoziția chimică, forțele de legătură metalice etc.), structura sa (reticulară, microscopică, macroscopică), temperatura, felul solicitării (statică, dinamică) etc.

Se consideră *macroduritate,* cea determinată pe diferite straturi ale materialului sau zone ale piesei metalice și *microduritate,* determinată pe un grăunte cristalin sau strat intergranular.

8 — rezilienta (sau rezistența la șoc), este proprietatea metalelor și aliajelor de a rezista la sarcini dinamice. Reziliența caracterizează și gradul de fragilitate al metalului.

9 — fluajul este proprietatea materialelor metalice de a se deforma în timp, lent și continuu, sub acțiunea unei sarcini constante. Această proprietate variază cu temperatura și de aceea este necesar să se țină seama de aceasta la proiectarea și exploatarea mașinilor și instalațiilor care lucrează *la temperaturi mai înalte* (cazane, turbine cu aburi, motoare cu reacție, motoarele rachetelor ș.a.).

10 — rezistența la oboseală este proprietatea materialelor de a suporta acțiunea unor *solicitări variabile repetate sau ciclice.* Diferitele piese care se rup prin oboseală, funcționează de obicei la sarcini cu mult sub limita de rupere, uneori ne apărînd nici o curgere prealabilă vizibilă. De obicei, ruperea prin oboseală pleacă dintr-un punct (un mic defect de material, o crestătură) și se dezvoltă lent, pînă ce piesa, la un moment dat, cedează brusc.

11 — rezistența la uzare este proprietatea metalelor și aliajelor de a rezista la acțiunea de distrugere prin frecare a suprafețelor lor. Ea crește paralel cu duritatea și se poate îmbunătăți prin alierea metalelor, prin tratamente termice și termochimice, prin tratamente mecanice (ecruisare), sau prin acoperiri superficiale. Uzarea depinde foarte mult de ungere, de calitatea suprafeței (netezime) și de condițiile de rodaj.

3.1.1.5. **Proprietățile tehnologice și de exploatare.** Aceste proprietăți se referă la capacitatea de prelucrare a materialelor prin diferite procedee tehnologice. Din această grupă de proprietăți fac parte următoarele:

1 — turnabilitatea este o proprietate complexă a metalului; un material va fi cu atît mai bun pentru turnare, cu cît va avea o fluiditate mai bună (mai ales la piese complicate și cu pereți subțiri), o contracție mai mică la solidificare și răcire (pericol de deformare, de fisurare, de formare a retasurii în piesă etc.), o temperatură de topire mai scăzută (cuptoare de topire mai simple și ieftine) și o tendință cît mai redusă de segregare (neomogenitate chimică în piesă);

2 — maleabilitatea este proprietatea metalelor și aliajelor de a fi ușor prelucrabile la rece pentru a fi transformate în foi subțiri, fără să se rupă sau să se fisureze. Metale maleabile sînt: Sn, Au, Cu, oțelul moale, Ag, Al etc. Un indicator al maleabilității și ductilității se poate considera și alungirea la rupere determinată prin încercare la tracțiune;

Scanned with OKEN Scanner

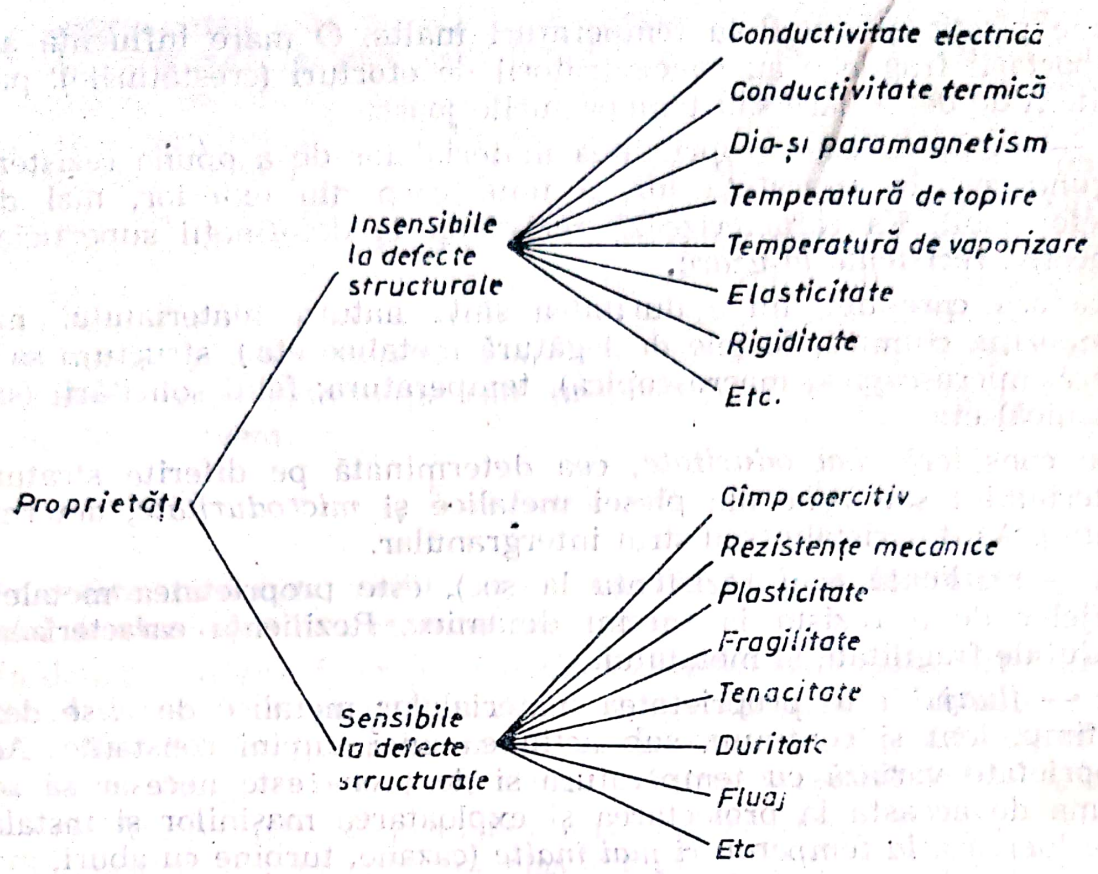


Fig. 3.2. Clasificarea proprietăților metalelor după sensibilitatea lor la defecte structurale.

3 — ductilitatea este proprietatea pe care o are un metal de a putea fi tras în fire subțiri prin trefilare. Exemple de metale ductile sînt: cuprul, aluminiul, alama, oțelul moale etc.;

4 — forjabilitatea este proprietatea metalelor și aliajelor de a putea fi prelucrate prin deformare plastică la cald respectiv la rece, posedînd o rezistență la deformare cît mai mică, la temperaturi cît mai joase, iar schimbările de formă și dimensiuni prin deformare, să nu ducă la fisurare. Forjabilitatea este influențată de compoziția chimică a materialului, temperatura și viteza de deformare;

5 — sudabilitatea este proprietatea unor materiale metalice și nemetalice, de a se îmbina prin încălzire locală pînă în stare topită sau plastică, cu sau fără adaos de material, cu sau fără utilizarea unor presiuni exterioare;

6 — călibilitatea reprezintă proprietatea unor materiale de a deveni mai dure în urma răcirii lor bruște de la o anumită temperatură prescrisă, indicată și prin adîncimea de pătrundere a călirii (grosimea stratului durificat);

7 — așchiabilitatea (prelucrabilitate prin așchiere) este proprietatea materialelor de a putea fi prelucrate prin așchiere (strunjire, frezare etc.) în produse semifabricate sau finite, cu eforturi cît mai mici și consum mic de energie și de scule.

Dacă se ține seamă de structura metalelor, proprietățile se pot împărți în două mari categorii: insensibile sau sensibile la defecte structurale și de rețea (fig. 3.2).

3.1.1.6. Solicitările chimice, fizice și mecanice în construcția de mașini și electrotehnică. Acestea sînt următoarele:

a — *solicitările chimice* sînt: *solicitări de proces,* care se produc la părțile active ale unor utilaje destinate proceselor chimice de fabricație, mai precis definite, încît alegerea metalelor se face după criterii funcționale; *solicitări chimice de mediu,* mai complexe, ele neputînd fi definite decît prin caracteristicile chimice generale (medii acide sau bazice, uscate sau umede);

b — *solcitările fizice* stau la baza alegerii unor materiale pentru confecționare de conductori electrici, piese magnetice etc. cînd se iau în considerație în primul rînd proprietățile fizice corespunzătoare: conductivitatea electrică, susceptibilitatea magnetică etc.;

c — *solicitările mecanice* se referă la efectele suportate de piesele metalice în procesul funcțional cum sînt: cele de rezistență la starea de tensiuni creată, ca și cele de păstrare a stabilității dimensionale într-un subansamblu, ansamblu sau instalație fabricată.

3.1.2. Încercările metalelor și aliajelor

3.1.2.1. **Generalități și clasificarea încercărilor.** Producția industrială modernă nu este posibilă fără cunoașterea metodelor de încercare, de caracterizare a materialelor. Aceste încercări furnizează datele necesare în primul rînd pentru alegerea materialului corespunzător pentru piesele metalice de mașini, dar și pentru determinarea cauzelor de avarii și defecțiuni în funcționarea organelor de mașini. Astfel, se poate decide dacă cauza defecțiunii a fost o alegere necorespunzătoare a metalului, a tehnologiei aplicate sau a exploatării necorespunzătoare.

Se impune, pe cît posibil, ca încercările să fie simple și rezultatele lor să se poată interpreta ușor. Pentru ca rezultatele încercărilor să fie *concludente* și *comparabile* între ele, trebuie să se respecte cu strictețe toate prescripțiile și condițiile prevăzute în norme și standarde.

Încercările metalelor și aliajelor se pot împărți după diferite criterii și anume: după tipul solicitării (statice și dinamice); după temperatură (la rece sau la cald); după caractersticile care se urmăresc (mecanice, tehnologice, defectoscopice, încercări fizice, chimice, analize metalografice sau röntgenografice).

3.1.2.2. **Încercările mecanice.** Încercările mecanice se fac cu scopul de a determina modul de comportare a metalelor și aliajelor sub acțiunea unor sarcini mecanice exterioare aplicate static (sarcina crescînd lent și progresiv de la zero pînă la o anumită valoare sau pînă la ruperea piesei supusă la încercare) sau, dinamic (prin șoc, sarcina fiind aplicată brusc), rezultatele încercărilor fiind exprimate prin valori numerice concrete.

1. Încercările statice sînt următoarele:

a — *încercarea la tracțiune* STAS 200—75) constituie cea mai importantă încercare mecanică pentru aprecierea unui material sau pentru verifiacrea caracteristicilor lui. Această încercare furnizează o serie de date și caracteristici pentru calculul de rezistență în proiectare. Din ma-

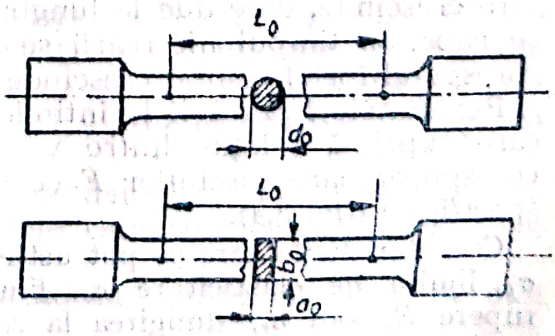


Fig. 3.3. Epruvete pentru încercarea la tracțiune.

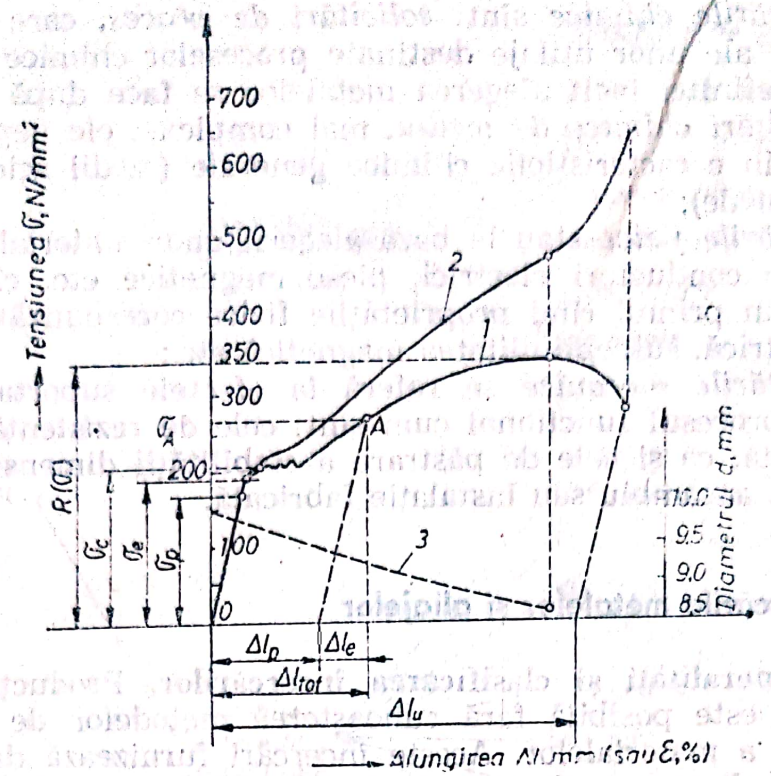


Fig. 3.4. Curbele caracteristice a unui oţel moale la încercarea la tracţiune: *1* — curba tensiunilor convenţionale $\left(\sigma = \frac{F}{S_0}, \text{ în N/mm}^2\right)$; *2* — curba tensiunilor reale $\left(\sigma_{real} = \frac{F}{S_{real}}, \text{ în N/mm}^2\right)$; *3* — curba scăderii uniforme (pe porţiunea l_0) a diametrului epruvetei cilindrice ($d_0 = 10$ mm) în timpul alungirii pînă în momentul apariţiei gîtuirii; Δl_{tot} — alungirea totală sub sarcină pentru punctul A; Δl_p — alungirea plastică (permanentă) după descărcarea epruvetei din punctul A; Δl_e — alungirea elastică care se anulează în timpul descărcării epruvetei din punctul A; Δl_u — alungirea remanentă după rupere.

terialul de încercat se execută epruvete tip, standardizate (fig. 3.3), ele putînd fi cu secţiunea rotundă sau dreptunghiulară.

Încercarea se face cu ajutorul maşinilor de tracţiune unde asupra epruvetei se aplică o sarcină de tracţiune care creşte, lent, în mod continuu şi fără şocuri, în direcţia axei longitudinale, pînă cînd aceasta se rupe. Pe măsură ce solicitările cresc, în epruvetă se dezvoltă eforturi unitare crescînde, care duc la lungirea şi gîtuirea ei, pînă în momentul cînd se rupe. În timpul încercării se înregistrează valorile deformaţiilor care corespund forţei treptat crescînde.

Rezultatele încercării la întindere se pot reprezenta printr-o diagramă, care exprimă relaţia dintre valorile tensiunilor (eforturilor unitare) σ, corespunzătoare sarcinilor F ce acţionează asupra epruvetei şi lungirile specifice ε (fig. 3.4).

Caracteristicile care se pot astfel obţine sînt: limita de proporţionalitate σ_p, limita de elasticitate σ_e, limita de curgere R_p sau σ_c, rezistenţa la rupere R_m sau σ_r, alungirea la rupere P_u sau ε_r şi gîtuirea la rupere Z.

Curba *1* din figura 3.4 a fost ridicată în ipoteza că secţiunea materialului rămîne constantă pînă la rupere. În realitate, datorită lungirii,

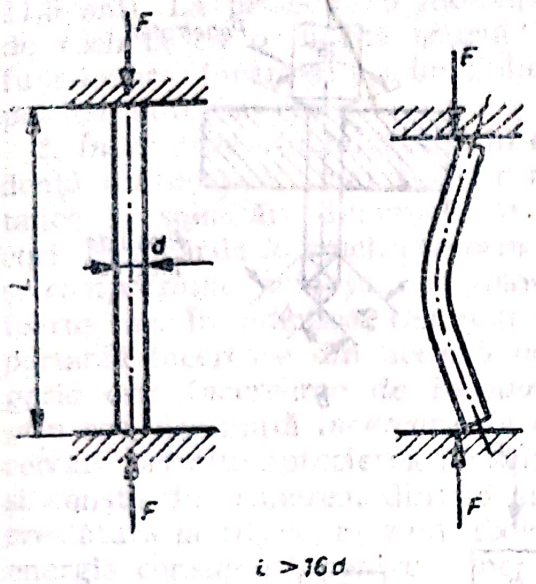


Fig. 3.5. Schema solicitării la flambaj.

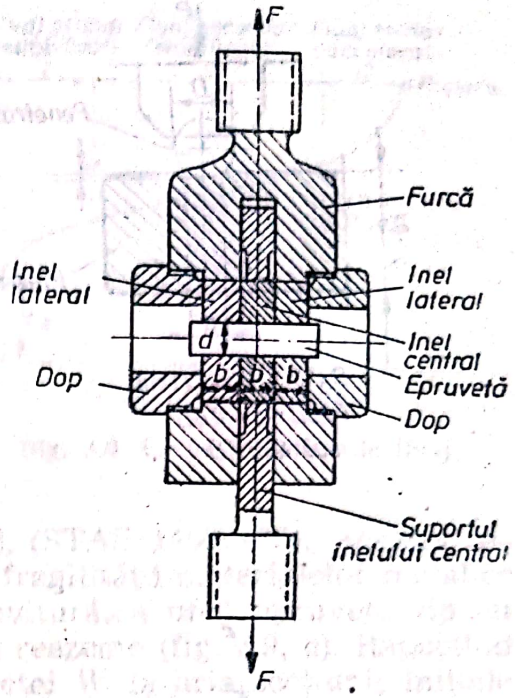


Fig. 3.6. Schema unui dispozitiv de încercare la forfecare.

secțiunea se micșorează și curba *2* este curba eforturilor unitare (tensiunilor) reale, adică sarcina raportată la aria secțiunii efective a epruvetei.

Rezistența la rupere și limita de curgere caracterizează rezistența materialului la rupere respectiv la deformări plastice, iar alungirea și gîtuirea caracterizează maleabilitatea și ductilitatea;

b — *încercarea la compresiune* (STAS 1552—78) se folosește mai rar decît încercarea la tracțiune; ea se prescrie mai ales pentru fonte, aliaje de lagăre etc. Epruveta cilindrică se supune unei sarcini progresive de compresiune în direcția axului longitudinal, pînă la rupere sau pînă la apariția primei fisuri. Această încercare se aplică și la încercarea betoanelor, cărămizilor, materialelor lemnoase etc. conform altor STAS-uri;

c — *încercarea la flambaj* este o variantă specială a încercării la compresiune. Se folosesc epruvete a căror lungime depășește de 16 ori diametrul, fiind piese subțiri și lungi (fig. 3.5). Se determină sarcina la care epruveta cedează cînd axul acesteia nu mai este liniar;

d — *încercarea la forfecare* (STAS 7927—67 și 7926—67) se execută asupra unei epruvete trecute prin trei inele de oțel călit, cu gaura corespunzătoare secțiunii epruvetei, două dintre inele fiind montate într-o furcă, iar al treilea într-un suport separat (fig. 3.6). Dispozitivul este montat în mașina de tracțiune. Rezistența de rupere la forfecare este raportul dintre forța F_{max} și de două ori secțiunea epruvetei, ruperea avînd loc după două planuri de forfecare;

e — *încercările de duritate* permit să se determine rapid pe epruvete prelevate și uneori direct pe piesă, unele caracteristici mecanice. Cele mai răspîndite metode sînt:

— *metoda Brinell* (STAS 165—66) avînd ca penetrator o bilă de oțel călit (fig. 3.7, *a*);

— *metoda Vickers* (STAS 492—78) avînd ca penetrator o piramidă dreaptă de diamant cu baza pătrată (fig. 3.7, *b*);

Scanned with OKEN Scanner

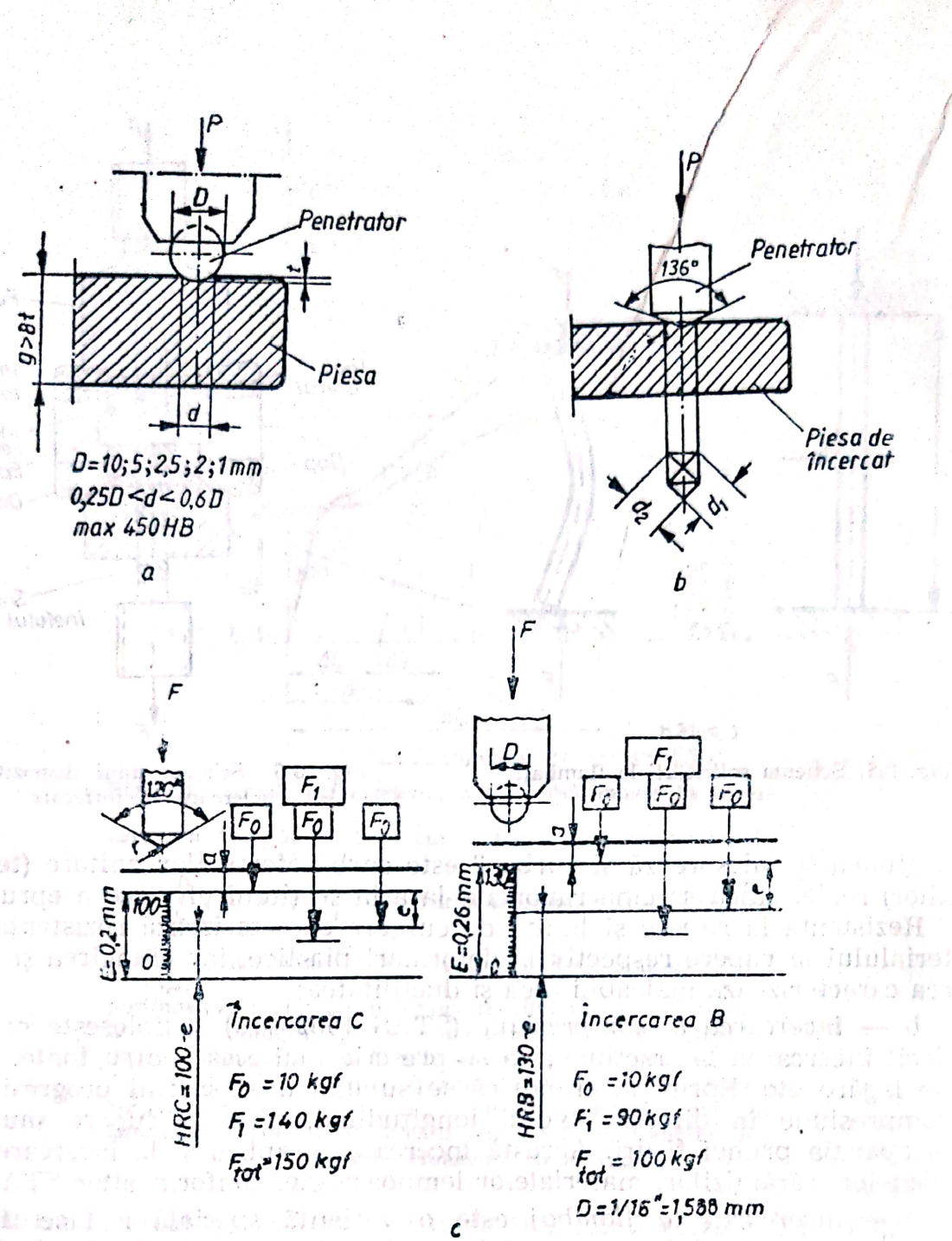


Fig. 3.7. Schema de încercare a durității prin metoda Brinell (*a*). Vickers (*b*) și Rockwell (*c*).

— *metoda Rockwell* (STAS 493—81) avînd ca penetrator un con de diamant sau o bilă de oțel (fig. 3.7, *c*).

f — încercarea de rupere la fluaj (STAS 6596—81 și STAS 8894/1—80 și 8894/2—81) constă în măsurarea variației dimensiunii epruvetei încărcate timp îndelungat, cu o sarcină constantă, la temperaturi înalte. Curba teoretică de fluaj este dată în figura 3.8. Se vede că viteza de fluaj este mare la început, apoi scade și se stabilizează, ca în ultima fază să crească accelerat și să provoace ruperea. Viteza de fluaj crește pronunțat odată cu creșterea temperaturii și cu mărirea sarcinii, în ambele cazuri grăbindu-se ruperea și micșorîndu-se durata de funcționare a pieselor. *Limita de fluaj*, pentru o temperatură dată, este acea sarcină, peste care deja se produce ruperea după un timp îndelungat. Proiectantul trebuie să cunoască *limita tehnică de fluaj*, pentru care standardul nostru prevede determinarea a două valori; tensiunea necesară pentru a produce o viteză

Scanned with OKEN Scanner

de fluaj de 1% în 10 000 ore și tensiunea pentru o viteză de 1% lungire în 100 000 ore (aproximativ 11,5 ani). La proiectarea motoarelor de rachetă cu o durată scurtă de funcționare, încărcările admisibile se pot lua mult mai mari.

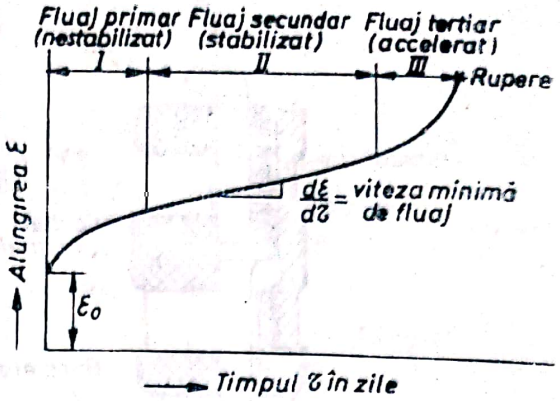


Fig. 3.8. Curba teoretică de fluaj.

2. *Încercările dinamice* scot în evidență comportarea materialelor metalice la solicitări dinamice, la șocuri. Încercările *la tracțiune prin șoc* și *compresiune prin șoc*, se folosesc foarte rar. În practică, cea mai importantă încercare din această categorie este *încercarea de încovoiere prin șoc*, denumită *încercare de reziliență*, (STAS 1400—75). Această încercare permite aprecierea tenacității sau fragilității materialelor metalice și constă din ruperea, dintr-o singură lovitură, a unei epruvete tip cu crestătură la mijloc, așezată liber pe două reazeme (fig. 3.9, *a*). Raportînd energia consumată pentru ruperea epruvetei W la aria secțiunii inițiale transversale a epruvetei în dreptul crestăturii S_0, obținem valoarea rezilienței KCU:

$$\text{KCU } W_0/h/b = \frac{W}{S_0} \text{ [J/cm}^2\text{]},$$

unde: W_0 este energia disponibilă a ciocanului pendul (normal W_0=300 J); h — adîncimea crestăturii; b — grosimea epruvetei.

Pentru executarea încercării se folosește ciocanul pendul Charpy (fig. 3.9, *b*). Acesta permite ca prin căderea unei greutăți G de la o anumită înălțime H, să se producă ruperea epruvetei la șoc singular. H și α fiind înălțimea și unghiul ce-l face ciocanul cu verticala înainte de rupere, iar h și β după rupere, se poate calcula energia consumată pentru rupere, implicit reziliența:

$$\text{KCU } W_0/h/b = \frac{G \cdot l\,(\cos\beta - \cos\alpha)}{S_0} \text{ [J/cm}^2\text{]},$$

unde: G este greutatea pendulului; l — lungimea tijei pendulului.

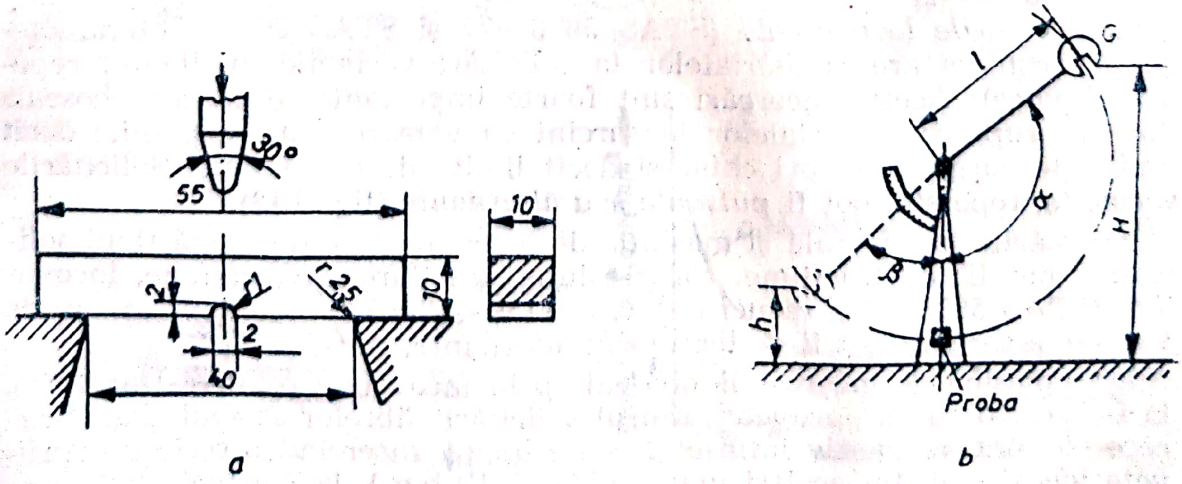


Fig. 3.9. Forma epruvetei și schema încercării la reziliență (*a*) și schema ciocanului-pendul Charpy (*b*).

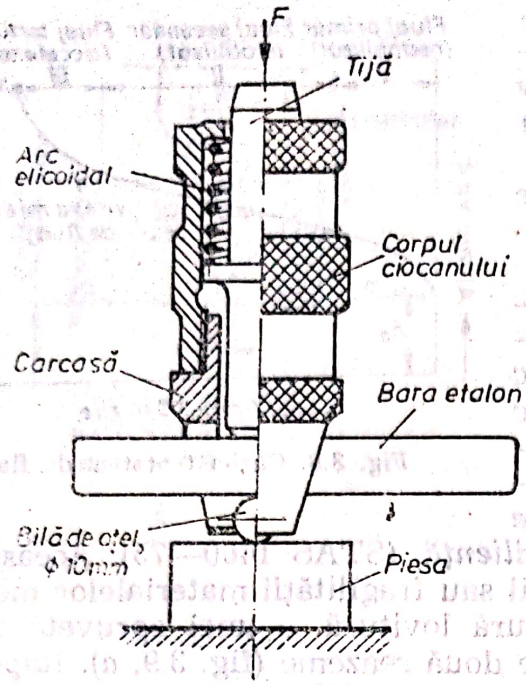


Fig. 3.10. Schema aparatului Poldi (aparat Brinell de buzunar).

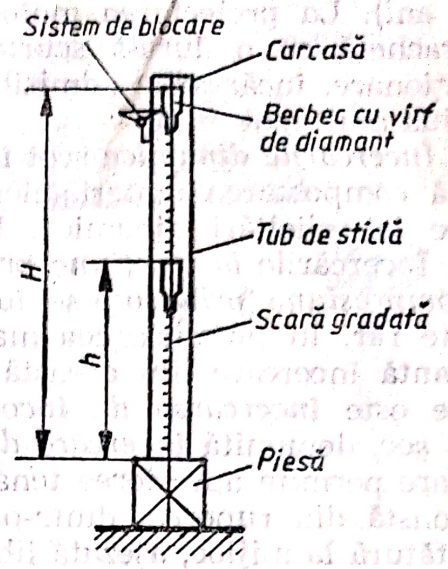


Fig. 3.11. Scleroscopul Shore.

Încercări de duritate cu sarcină dinamică:

Metoda Poldi folosește un aparat simplu (fig. 3.10), cu o bilă de oțel și o bară etalon cu duritate cunoscută. Prin lovirea cu un ciocan de mînă, bila lasă două urme, una în bara etalon și alta în piesa de încercat. Duritatea se determină pe baza raportului dintre cele două urme:

$$HB_p = HB_e \left(\frac{d_e}{d_p}\right)^2,$$

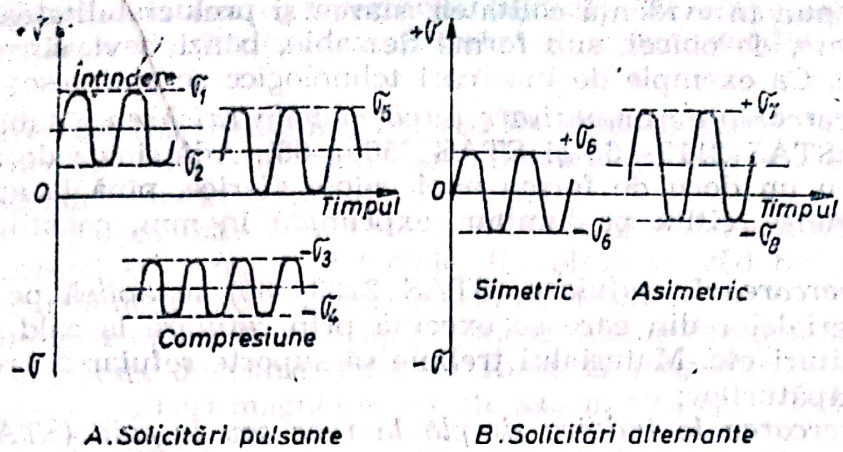
unde: HB_p este duritatea piesei de încercat; HB_e — duritatea piesei etalon; d_e și d_p — diametrul urmei pe piesa etalon respectiv de încercat.

Metoda Shore (STAS 8315—69) se bazează pe măsurarea înălțimii de recul h a unei greutăți cu vîrf de diamant, care cade liber de la o înălțime dată H pe suprafața de încercat. Aparatul folosit este scleroscopul Shore (fig. 3.11).

3. *Încercările la oboseală* (STAS 5878—77 și STAS 8027—78) caracterizează comportarea materialelor la solicitări variabile (oscilante) repetate (ciclice). Aceste încercări sînt foarte importante, deoarece oboseala duce la ruperea materialelor la sarcini ca valoare mult mai mici decît limita de curgere, uneori chiar și decît limita de elasticitate. Solicitările variabile, repetate, pot fi *pulsante* sau *alternante* (fig. 3.12).

Încercările la oboseală și mașinile de încercat aferente, după tipul solicitării, pot fi: de tracțiune, compresiune, tracțiune-compresiune, încovoiere (STAS 5878—77), răsucire (STAS 11399—80) etc., iar după modul de variație a sarcinii pot fi oscilante sau alternante.

La o mașină de încercat la oboseală prin încovoiere rotativă (fig. 3.13), la fiecare rotație a epruvetei, sensul solicitării fibrelor se schimbă, deoarece ele sînt alternativ întinse și comprimate. Încercînd o serie de epruvete identice și din același material (8 . . . 12 buc.), la eforturi alternante din ce în ce mai mici, numărul de cicluri suportate de epruvete pînă la



A. Solicitări pulsante B. Solicitări alternante

Fig. 3.12. Tipurile solicitărilor variabile.

rupere va fi din ce în ce mai mare. Se obține astfel o curbă de forma celei din figura 3.14, numită *curba Wöhler*, care reprezintă numărul de cicluri suportate de epruvetă pînă la rupere în funcție de efortul unitar. Curba se apropie asimptotic de valoarea *rezistenței la oboseală*, unde numărul de cicluri suportate devine infinit de mare. Rezistența la oboseală prin încovoiere este efortul unitar maxim pe care-l suportă materialul, fără să se distrugă, atunci cînd este supus la un anumit număr de cicluri convențional ales (de exemplu 10^7 cicluri pentru oțeluri). În funcție de această rezistență la oboseală se stabilesc *rezistențele admisibile* ale unei piese, unde nu mai există pericolul unei ruperi prin oboseală.

Deoarece încercările la oboseală comportă experiențe de lungă durată (mai multe zile), în practică se folosesc și încercări rapide, de maximum 2 ore, mai puțin precise, care se bazează pe determinarea lucrului mecanic al frecărilor interne din materialul epruvetei.

3.1.2.3. **Încercările tehnologice.** Aceste încercări se aplică cu scopul punerii în evidență a proprietăților tehnologice, indicînd modul de comportare și capacitatea metalelor și a semifabricatelor de a putea fi prelucrate la rece sau la cald. Aici se stabilesc deformațiile pe care le suferă un material, fără a măsura forțele care le produc. Se urmărește deformația maximă, cu condiția ca pe suprafața probei să nu apară fisuri, exfolieri, crăpături sau alte defecte vizibile. Ca urmare, rezultatele acestor încercări nu se exprimă prin valori numerice concrete, ci prin califica-

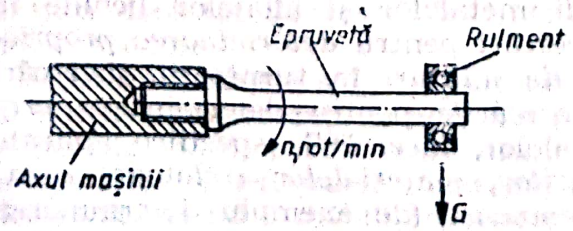


Fig. 3.13. Schema încercării la oboseală prin încovoiere rotativă.

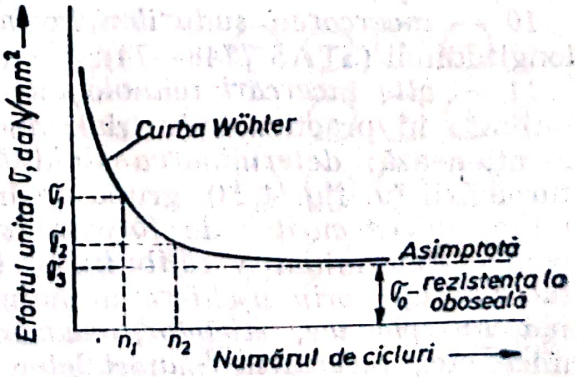


Fig. 3.14. Curba Wöhler cu numărul de cicluri pînă la ruperea la oboseală.

Scanned with OKEN Scanner

tive, care pun în evidență calitatea, starea și prelucrabilitatea materialelor încercate, de obicei, sub formă de table, benzi, țevi, sîrme, îmbinări sudate etc. Ca exemple de încercări tehnologice se amintesc:

1 — încercarea de ambutisare după metoda Erichsen a tablelor (STAS 7234—75, STAS 2112—63 și STAS 7569—66). Adîncimea de ambutisare, realizată cu un dorn de forma unei calote sferice, pînă la apariția unei fisuri pătrunse, citită pe tambur, exprimată în mm, constituie indicele Erichsen;

2 — încercarea la refulare (STAS 2233—80) se aplică pentru verificarea materialelor din care se execută prin refulare la cald sau la rece buloane, nituri etc. Materialul trebuie să suporte refularea prescrisă fără apariția crăpăturilor;

3 — încercarea la îndoire simplă la rece sau la cald (STAS 777—80, STAS 8979—71 și STAS 10.417—75) verifică capacitatea materialului de a obține prin încovoiere anumite forme și dimensiuni;

4 — încercarea de dublă îndoire a tablelor subțiri și a benzilor este cuprinsă în STAS 2080—67;

5 — încercarea la îndoire alternantă a tablelor și benzilor (STAS 7737—67) și a sîrmelor din oțel (STAS 1177—74) stabilește numărul de îndoiri suportate pînă la apariția primelor crăpături;

6 — încercarea la răsucire (STAS 1750—80) se execută la rece asupra unei epruvete din sîrmă sau bară subțire, de o lungime dată, determinîndu-se numărul de răsuciri efectuate pînă la rupere;

7 — încercarea la înfășurare a sîrmelor este standardizată în STAS 6622—70, STAS 9066—81 și 10.392—75;

8 — încercarea țevilor (STAS 1111—79, STAS 8921—81, STAS 10.385—75 și STAS 10.471—75) cuprinde o serie de încercări, ca de exemplu: la îndoire; de aplatisare; de lărgire cu ajutorul unui mandrin (dorn) tronconic; de răsfrîngere cu un mandrin tronconic și apoi cu un mandrin de răsfrîngere pînă la unghiul prescris; de turtire (aplatisare) transversală dublă; de turtire axială; de lărgire a inelului pe un dorn conic pînă la ruperea inelului; de tracțiune a inelului cu ajutorul a două bolțuri bine unse, pînă la ruperea inelului; de strîngere (gîtuire) cu un inel conic bine uns, pînă la realizarea strîngerii prescrise în % din diametrul inițial; încercarea la presiune hidraulică pentru verificarea rezistenței țevilor, prin ridicarea presiunii apei sau uleiului din țeava montată pe bancul de probă pînă la o valoare prescrsă sau mergînd pînă la ruperea țevii;

9 — sudabilitatea oțelurilor se determină conform STAS 7194—79, existînd încercări similare și pentru determinarea sudabilității altor metale și aliaje;

10 — încercarea sudurilor la îndoire se face pe epruvete încărcate longitudinal (STAS 7748—74);

11 — alte încercări tehnologice, specifice pentru diferite produse sînt întîlnite în practica industrială în număr mare. Dintre acestea se mai menționează: *determinarea fluidității* metalelor și aliajelor lichide în turnătorii (v. fig. 4,23), grupa de încercări pentru *determinarea proprietăților amestecurilor de formare și de miezuri* în turnătorii, încercări pentru determinarea *călibilității*, încercările pentru determinarea *prelucrabilității prin așchiere* a materialelor, *încercările* specifice aplicate *maselor plastice, sticlelor, cauciucurilor, materialelor izolatoare* ceramice etc., *încercările materialelor lemnoase* (de exemplu determinarea umidității lemnului etc.). *proba prin scîntei* pentru aprecierea rapidă a calității aliajelor feroase, diferitele variante de *încercări pentru deter-*

Scanned with OKEN Scanner

minarea rezistenței la uzare, încercările lagărelor de alunecare, a frînelor și materialelor de fricțiune, a filtrelor și a materialelor poroase și multe altele.

3.1.2.4. **Încercări fizico-chimice.** *Încercările fizice* frecvent folosite sînt: încercările *nedistructive* ale metalelor, precum și cele *cu distrugerea probei.* Principalele procedee nedistructive sînt:

— *defectoscopia cu raze X și raze γ.* Aici locurile defecte absorb diferit aceste raze și, ca urmare, defectele din piesă se văd pe placa fotografică ca locuri înnegrite de diferite mărimi și forme;

— *defectoscopia magnetică* se aplică materialelor feromagnetice și se bazează pe dispersia de către defect a fluxului magnetic care străbate piesa. Se folosesc pulberi magnetice uscate sau în suspensie în lichid pentru a vizualiza defectele;

— *defectoscopia cu ultrasunete* se bazează pe unele proprietăți ale ultrasunetelor de a-și modifica intensitatea la propagarea lor printr-un mediu cu defecte interioare sau de a fi reflectate de acestea, folosind aparate bazate pe principiul piezoelectric sau pe cel de magnetostricțiune. Această metodă de control se pretează la automatizare completă.

Încercările structurale cu distrugerea probei pot fi: macrografice și micrografice (metalografice), folosind microscoapele optice și electronice.

Încercările chimice se fac cu scopul de a cunoaște compoziția chimică a materialului. În general, se determină ce elemente intră în compoziția chimică a aliajului și în ce procente.

3.2. BAZELE STUDIULUI METALELOR

3.2.1. Structura cristalină a metalelor

3.2.1.1. **Structura atomică a metalelor.** Prin metale înțelegem acele elemente chimice care la temperatura ambiantă sînt solide (excepție face numai mercurul) și se carcaterizează printr-o serie de proprietăți specifice: un luciu caracteristic, opacitate, impermeabilitate, o bună rezistență mecanică, conductivitate electrică și termică ridicate, o structură cristalină specifică etc.

Teoria clasică a stării metalice consideră metalele ca elemente alcătuite din ioni încărcați pozitiv, (adică din atomi care și-au pierdut unii dintre electronii lor de valență) înconjurați de un nor de electroni cu sarcină electrică negativă, format din electronii de valență a atomilor de metal. Această *legătură metalică* dintre atomi este specifică metalelor și explică unele proprietăți caracteristice ale acestora, cum ar fi conductivitatea electrică și termică deosebit de bune, fenomenul de termoelectricitate.

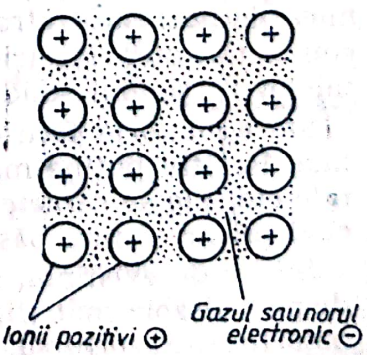


Fig. 3.15. Reprezentarea schematică a legăturii metalice.

Deoarece metalele sînt corpuri cristaline, ionii pozitivi sînt așezați în nodurile rețelei cristaline (fig. 3.15), printre care electronii cedați se pot mișca liber, *gazul electronic* (sau *norul electronic)* avînd o mobilitate mare. Astfel, într-o sîrmă metalică pusă sub tensiune electrică, gazul electronic se va deplasa într-o anumită

Scanned with OKEN Scanner

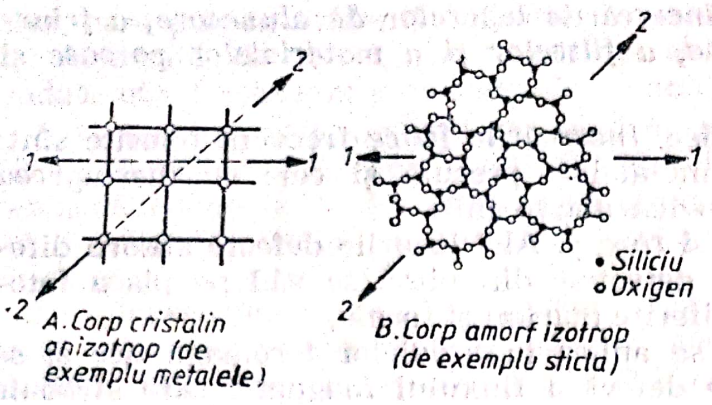


Fig. 3.16. Structura cristalină și starea amorfă.

direcție, producîndu-se în acest fel curentul electric. Conductivitatea termică ridicată a metalelor este tot o urmare a mobilității mari a gazului electronic a acestor materiale.

Teoria modernă a stării metalice pornește de la principiul că în metalele compacte numai nivelele mai apropiate de nucleu sînt distincte, în timp ce nivelele și subnivelele exterioare se contopesc în benzi de energie, conținînd mai multe nivele cu energii foarte apropiate. Nivelele de energie din benzi nu aparțin atomilor individuali, ci întregului metal.

Lipsa de orientare a legăturii metalice explică plasticitatea ridicată a metalelor, adică capacitatea lor de a-și schimba forma și dimensiunile sub acțiunea unor forțe exterioare, fără însă a strica integritatea corpului. Această proprietate este cu totul imposibilă, de exemplu, la cristale ionice, formate pe baza legăturii ionice dintre atomi.

3.2.1.2. **Structura cristalină reticulară.** După forma în care atomii unui corp solid sînt aranjați în spațiu, deosebim:

— *corpuri cristaline,* care se caracterizează printr-o anumită dispoziție ordonată, riguros geometrică a atomilor, formînd *rețele cristaline;*

— *corpuri amorfe,* care se caracterizează printr-o dispoziție întîmplătoare, fără orientare, fără periodicitate a atomilor, care nu mai au un aranjament geometric propriu în spațiu.

Ne interesează mai mult *starea cristalină,* deoarece toate metalele în stare solidă sînt corpuri cristaline, atomii formînd o rețea spațială (fig. 3.15 și fig. 3.16, *A*). Din cauza așezării atomilor după anumite direcții proprietățile corpurilor cristaline variază în funcție de direcție, avînd un aspect vectorial. De exemplu în direcția *1—1* (v. fig. 3.16, *A*), proprietățile termice, mecanice și electrice vor fi diferite față de cele determinate în direcția *2—2*. Această dependență a proprietăților fizice după direcția în care ele sînt măsurate, specifică corpurilor cristaline, se numește *anizotropie*. Dintre proprietățile care variază în funcție de direcție în corpurile anizotrope, amintim: conductivitatea termică, dilatarea termică, indicele de refracție (la corpurile transparente, deci nu la metale), conductivitatea electrică, rezistența mecanică, viteza de creștere a cristalelor în timpul solidificării, viteza de dizolvare sau topire a lor etc.

Starea amorfă face o tranziție între starea lichidă și cea solidă, cristalină. Relativ puține materiale sînt amorfe, cum ar fi: sticla, smoala, rășinile etc. Ele se caracterizează printr-o topire sau solidificare treptată, trecînd printr-o stare păstoasă.

Sticla, de exemplu, are atomii de oxigen și de siliciu așezați în grupuri dispuse dezordonat (fig. 3.16, *B*). O caracteristică importantă a corpurilor amorfe este *izotropia,* adică faptul că au aceleași valori ale proprietăților în toate direcțiile. La sticlă, de exemplu, toate proprietățile determinate în direcția *1—1* (v. fig. 3.16, *B*), vor fi identice cu cele din direcția *2—2*.

Scanned with OKEN Scanner

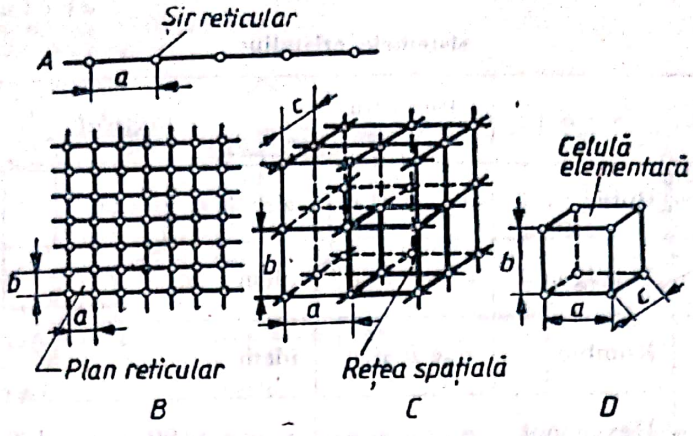


Fig. 3.17. Elementele unei rețele cristaline spațiale și celula elementară.

Dacă atomii (sau ionii) sînt înșirați la intervale egale *a*, pe o anumită direcție (fig. 3.17, *A*), se obține o rețea unidimensională, *un șir reticular* sau o rețea liniară. Printr-o translație într-o a doua direcție cu distanțele constante *b*, dintr-un număr foarte mare de rețele liniare se obține un *plan reticular* sau o rețea plană (fig. 3.17, *B*). Prin repetarea planelor reticulare într-o a treia direcție, cu respectarea distanțelor constante *c*, se ajunge la o *rețea spațială* (fig. 3.17, *C*). Distanțele de translație *a*, *b* și *c* poartă denumirea de *parametrii rețelei* spațiale, iar valorile lor absolute au, ca și diametrele atomilor, ordinul de mărime de 1 Å, adică 10^{-8} cm.

Nodurile rețelei spațiale sau *rețelei cristaline* reprezintă poziția medie a atomilor în oscilație permanentă, cu o amplitudine foarte mică, datorită agitației termice. Această amplitudine este funcție de temperatură, la valori mai mari ale temperaturii amplitudinea oscilațiilor ajungînd la valori din ce în ce mai mari.

Rețelele cristaline spațiale mai pot fi considerate constituite prin repetarea de un număr foarte mare de ori a *celulei elementare* în direcțiile celor trei axe de coordonate (fig. 3.17, *D* și *C*). O celulă elementară rezultă din intersecția planelor reticulare, aceasta fiind elementul de bază, din care putem clădi o rețea atomică spațială. Pentru caracterizarea unei rețele cristaline, este suficient să se cunoască celula elementară. Trebuie să se determine distanțele *a*, *b* și *c* dintre atomii săi după cele trei direcții (parametrii rețelei) și *unghiurile* formate de muchiile celulei, adică unghiurile α, β și γ (fig. 3.18).

Aranjamentul atomilor în rețele spațiale poate fi diferit, în funcție de parametrii rețelei și unghiurile formate de axele *X*, *Y* și *Z* ale rețelei. Parametrii și unghiurile pot avea valori egale sau diferite, pe baza cărora sînt cunoscute în total 7 *sisteme cristaline*, așa cum rezultă din tabelul 3.2.

Cel mai simetric sistem cristalin este *sistemul cubic*, avînd parametrii egali ($a=b=c$) și unghiurile de asemenea egale ($\alpha=\beta=\gamma=90°$), iar cel mai nesimetric sistem este cel *triclinic*, care are parametrii diferiți ($a\neq b\neq c$) și unghiurile de asemenea inegale și diferite de 90°

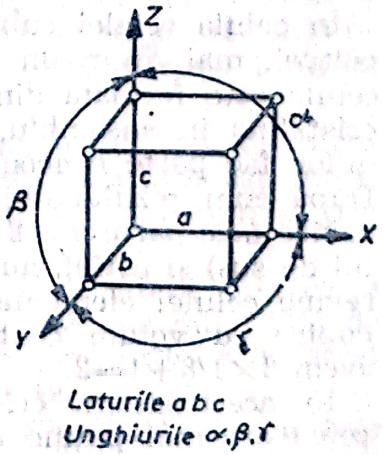


Fig. 3.18. Parametrii rețelei spațiale și unghiurile formate de muchiile celulei elementare.

Tabelul 3.2

Sistemele cristaline

Nr. crt.	Sistemul	Parametrii rețelei	Unghiurile
1	Cubic	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$
2	Tetragonal	$a = b \neq c$	idem
3	Rombic	$a \neq b \neq c$	idem
4	Hexagonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90°$; $\gamma = 120°$
5	Romboedric	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90°$
6	Monoclinic	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90° \neq \beta$
7	Triclinic	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$

($\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$). Între aceste două sisteme limită mai există 5 sisteme intermediare cu un grad de asimetrie din ce în ce mai mare, cum rezultă din tabelul 3.2.

Pe baza celor 7 celule elementare simple, sau primitive, ale celor 7 sisteme cristaline, se poate ajunge la toate rețelele atomice întîlnite în practică, adăugînd atomi în centrele fețelor celulelor elementare simple sau în centrul volumului acestora. Astfel se ajunge, de exemplu, la *sistemul cubic cu fețe centrate* sau la *sistemul cubic cu volum centrat*.

Metalele și aliajele cristalizează în primele 4 sisteme cristaline trecute în tabelul 3.2, deci în sistemul cubic, tetragonal, rombic și hexagonal.

1. *Rețeaua cubică cu volum centrat.* Cel mai simetric și mai simplu sistem este cel cubic, dar rețeaua cubică simplă nefiind suficient de compactă, nu se întîlnește la metale. Tendința celei mai compacte aranjări a atomilor duce la formarea rețelei cubice cu volum centrat sau cu fețe centrate.

În celula rețelei cubice cu volum centrat, în afara celor 8 atomi din colțuri, mai avem un atom în centrul volumului cubului, deci aparent celula este formată din 9 atomi (fig. 3.19, *B*). Dacă se privește rețeaua cristalină în ansamblu, se poate însă ușor constata că majoritatea atomilor fac parte concomitent din mai multe celule elementare adiacente. După cum rezultă din figura 3.20, *a*, un atom dintr-un nod al rețelei cubice face parte din 8 celule elementare (4 la nivelul de jos și 4 la nivelul de sus) și astfel, numai a opta parte dintr-un atom din colțul cubului revine celulei elementare studiate. Astfel în realitate o celulă a rețelei cubice cu volum centrat este formată din numai 2 atomi, deoarece avem $8 \times 1/8 + 1 = 2$.

În acest sistem cristalizează metalele mai dure, (deoarece această rețea are mai puține direcții de alunecare), cum ar fi: Cr, Mo, W, V, Fe_α, Fe_β, Fe_δ, Ta, Zr, Nb, Ti etc.

2. *Rețea cubică cu fețe centrate.* În afara celor 8 atomi din colțurile celulei, aceasta mai conține încă 6 atomi în centrele fețelor cubului, deci

Scanned with OKEN Scanner

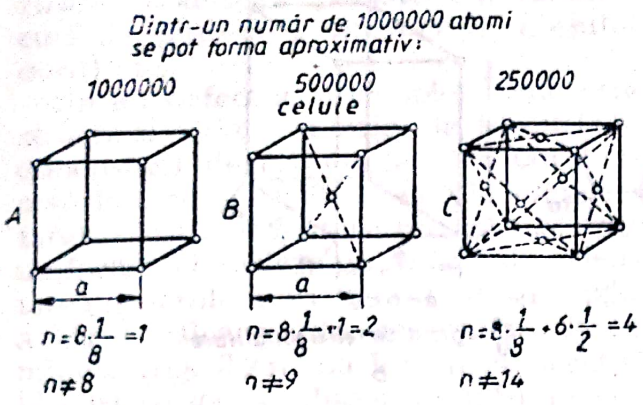


Fig. 3.19. Rețeaua oblică simplă (*A*); cu volum centrat (*B*); cu fețe centrate (*C*) și numărul atomilor care revin unei celule elementare.

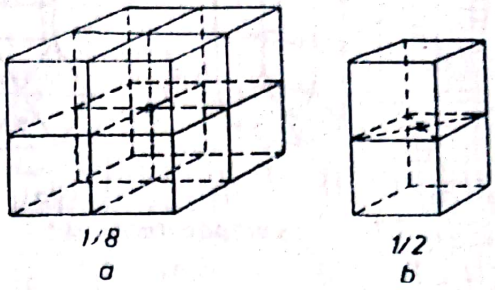


Fig. 3.20. Celulele adiacente din care face parte un atom din colțul cubului (*a*) și din centrul feței cubului (*b*).

celula este formată aparent din 8+6=14 atomi (v. fig. 3.19, *C*). În baza raționamentului de mai sus însă și în acest caz atomii din colțurile cubului intră în componența unei celule elementare numai cu a 8-a parte a lor, iar atomii din centrul fețelor cu ponderea de 1/2, așa cum rezultă din figura 3.20, *b*. Astfel, în realitate, o celulă elementară a rețelei cubice cu fețe centrate este formată din numai 4 atomi în loc de 14, deoarece avem $8\times1/8+6\times1/2=1+3=4$.

În acest sistem cristalizează în special metalele moi, cu plasticitate ridicată, bune conducătoare de electricitate și de căldură: Ag, Au, Cu, Al, Ni, Feγ, Pb, Pt, Co , Ir etc. Deoarece sistemul cubic cu fețe centrate oferă mai multe plane (direcții) de alunecare, metalele care cristalizează în acest sistem sînt moi și pot fi ușor deformate plastic.

În concluzie se poate spune deci că majoritatea metalelor, importante din punct de vedere practic, cristalizează în sistemele cubice cu volum centrat sau cu fețe centrate.

3. *Rețea hexagonală compactă.* În mod similar cu rețeaua cubică simplă, nici rețeaua hexagonală simplă nu este întîlnită la metale din cauza unei compactități insuficiente a acesteia.

În celula rețelei hexagonale compacte avem tot aparent 12 atomi în colțurile bazelor hexagonale (fig. 3.21, *a*), 2 atomi în centrele bazelor și 3 atomi în interiorul volumului celulei elementare, la mijlocul înălțimii acesteia, la distanță de 1/3 și 2/3 din parametrul *a*, în direcția laturilor bazei, conform schiței din figură.

Din cauza gradului redus de simetrie și al numărului mic de plane posibile de alunecare, în sistemul hexagonal compact cristalizează metalele cu plasticitate redusă, cum ar fi: Mg, Zn, Cd, Co_α precum și grafitul etc.

4. *Rețea tetragonală compactă.* Celula elementară diferă de cea a sistemului cubic prin faptul că aici parametrul *c* este mai mare față de *a* și *b*, care rămîn egale (v. fig. 3.21, *b*). La metale vom întîlni și în acest caz numai rețele cu volum centrat sau cu fețe centrate.

În acest sistem cu volum centrat cristalizează Sn_β (alb), iar cu fețe centrate Mn etc.

Reprezentînd în mod simplificat atomii (sau ionii) printr-o sferă corespunzătoare stratului exterior al electronilor, în celulele elementare ale

Scanned with OKEN Scanner

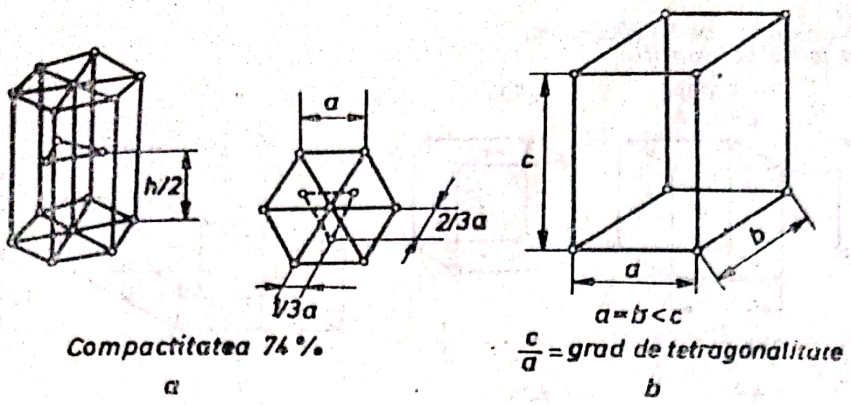


Fig. 3.21. Celula elementară a rețelei hexagonale compacte (*a*) și a rețelei tetragonale (*b*)

rețelelor atomice aceste sfere sînt tangente, așa cum rezultă și din figura 3.22. Deși în această așezare compactă sferele se ating, totuși ele vor ocupa numai o parte din spațiul total al rețelei. Raportul dintre volumul ocupat de sfere (atomi) și volumul total al rețelei se numește *grad de compactitate* și are pentru rețelele studiate următoarele valori:

— rețea cubică simplă	0,52
— rețea cubică cu volum centrat	0,68
— rețea cubică cu fețe centrate	0,74
— rețea hexagonală compactă	0,74

Structura cristalelor reale diferă într-o oarecare măsură de cristalele ideale, perfecte, despre care s-a vorbit pînă acum. În rețeaua cristalelor reale exsită totdeauna anumite imperfecțiuni, devieri de la așezarea riguros ordonată a atomilor, anumite defecte, precum și impurități, atomi străini, care, datorită razelor lor atomice diferite, bineînțeles, vor cauza anumite distorsiuni locale ale rețelei cristaline de bază. De asemenea, în rețelele reale totdeauna există poziții *vacante,* noduri de rețea de unde lipsește un atom. Aceste noduri vacante *(lacune)* explică și fac posibilă *difuziunea* atomilor proprii sau străini în interiorul unui corp (cristal) solid, fenomen pe care se bazează o serie de procese importante din punct de vedere practic, cum ar fi: tratamentele termochimice, omogenizarea soluțiilor solide, recoacerile de omogenizare, sinterizarea produselor presate din pulberi metalice, formarea aliajelor în timpul sinte-

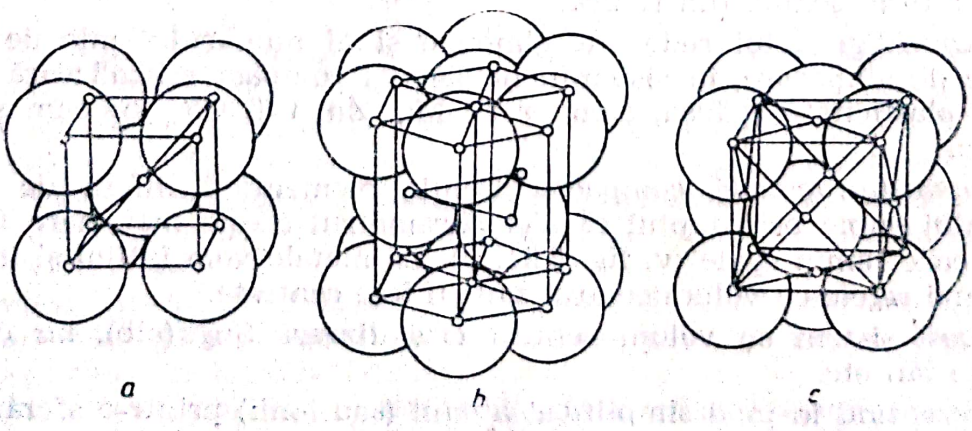


Fig. 3.22. Așezarea compactă a atomilor în celulele elementare.

rizării produselor presate din amestecuri de pulberi (componenții aliajului dorit) etc.

Un alt defect al cristalelor reale este *structura* lor *de mozaic*, de blocuri cu dimensiuni de ordinul a 10^{-4} cm (cuprinzînd circa 1000 de celule elementare), a căror orientare nu este perfect uniformă, ci variază puțin față de orientarea generală a cristalului cu un unghi a cărui valoare este de numai cîteva minute (fig. 3.23). La întîlnirea acestor blocuri se găsesc discontinuități în rețea, așa-numitele *dislocații*, prezența cărora reduce mult proprietățile mecanice, provocînd o fragilitate mai mică sau mai mare. Această structură mozaic apare în timpul solidificării, cînd acționează concomitent și contracția termică la răcire.

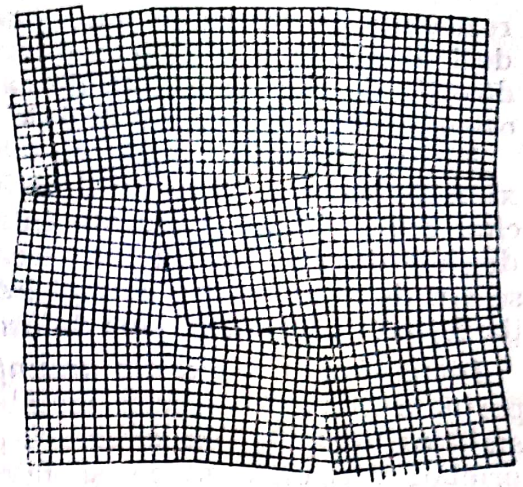


Fig. 3.23. Structură mozaic.

Este deosebit de semnificativ că, datorită defectelor de naturi diferite, proprietățile mecanice ale cristalelor reale se reduc într-o măsură deosebit de mare. Astfel rezistența la rupere, calculată pentru cristalele ideale (fără defecte), este pînă la 1000 ori mai mare decît cea determinată experimental la cristalele reale, care datorită defectelor sînt pline de zone de slabă rezistență și de amorsare a rupturilor.

3.2.1.3. **Structura policristalină a metalelor.** Metalele și aliajele solide, de obicei, sînt alcătuite dintr-un număr foarte mare de cristale, formînd un *agregat policristalin*. În timpul solidificării, creșterea acestor *grăunți cristalini*, care poartă și denumirea de *cristalite*, este împiedicată începînd din momentul cînd ei ajung să se atingă reciproc, ceea ce va conduce la obținerea, în metalul sau aliajul complet solidificat, a unor cristalite cu contur neregulat, așa cum se va arăta în continuare la discutarea solidificării și cristalizării metalelor. Dimensiunile acestor cristalite se pot exprima în fracțiuni de mm, astfel încît într-un cm^3 de metal se găsesc cîteva zeci de mii de cristalite distincte, dar strîns legate între ele.

La metalele pure, deosebirea între diferiții grăunți constă în orientarea, în general întîmplătoare, a rețelelor lor cristaline, axele acestora fiind dirijate cu același grad de probabilitate în toate direcțiile de orientare din spațiu. Din acest motiv, metalele cu această structură policristalină neorientată, vor prezenta aceleași proprietăți în orice direcție. Variația proprietăților cu direcția cristalitelor anizotrope se compensează și, astfel, piesa metalică în ansamblu va prezenta o *izotropie statistică* sau *cvasiizotropie*.

Deformarea plastică a semifabricatelor metalice (trefilarea, laminarea etc.), duce însă la o orientare preferențială a rețelelor grăunților, denumită *textură fibroasă* sau textură de laminare. *Gradul de orientare* preferențială a grăunților poate avea valori diferite, variind de la o așezare complet întîmplătoare din metalele nedeformate plastic, pînă la o orientare în aceeași direcție a tuturor cristalelor la un semifabricat puternic deformat, de exemplu, prin trefilare. Bineînțeles, la grade mai mari de orientare a grăunților, începe să apară din nou anizotropia pe ansamblul piesei metalice. La o tablă laminată, de exemplu, se va măsura astfel o

Scanned with OKEN Scanner

rezistență la tracțiune mult mai mare în direcția fibrelor de laminare, deci atunci cînd epruveta de tracțiune a fost luată cu axa paralelă cu direcția de laminare, față de cazul cînd epruveta era confecționată cu o orientare perpendiculară față de direcția de laminare.

Forma grăunților poate fi *echiaxială*, cînd dimensiunile lor sînt aproximativ aceleași în toate direcțiile, sau *alungită* (în caz extrem fibroasă), cînd dimensiunile măsurate într-o direcție, întrec cu mult dimensiunile din alte direcții. Prin deformarea plastică a materialelor metalice, grăunții se vor deforma, se vor alungi într-o anumită direcție, în funcție de direcția forțelor care au produs deformarea.

Dimensiunile medii ale grăunților constituie o caracteristică foarte importantă privind calitățile metalelor și aliajelor. În general, se poate constata că un metal cu *structură grosolană*, deci cu grăunți mari, are proprietăți mecanice slabe și invers, o *structură fină* va determina ca materialul metalic respectiv să prezinte proprietăți mecanice foarte favorabile.

3.2.2. Solidificarea metalelor și aliajelor

3.2.2.1. **Topirea și solidificarea metalelor.** Atomii (ionii) metalelor ocupă o poziție medie în nodurile rețelei cristaline, în jurul căreia execută o *mișcare oscilatorie permanentă*. Intensitatea (amplitudinea) acestor oscilații crește cu temperatura. Consumul de căldură necesar pentru mărirea intensității oscilațiilor, paralel cu creșterea temperaturii corpului metalic, este cunoscut sub denumirea de *căldură specifică*.

Căldura acumulată de metal prin încălzirea acesteia la temperaturi din ce în ce mai mari intensifică agitația termică, mărind amplitudinea oscilațiilor atomilor, prin care se slăbește, bineînțeles, într-o oarecare măsură, coeziunea dintre atomi. Astfel, la un moment dat, cînd temperatura metalului va atinge o temperatură bine determinată, coeziunea dintre atomi va putea fi învinsă, rețeaua cristalină se va rupe, se va desființa, iar atomii deveniți liberi, vor începe o mișcare Browniană, caracteristică lichidelor. *Metalul topit* va ocupa volumul vasului în care a fost încălzit și topit, luînd forma acestuia. La corpurile cristaline, cu o puritate chimică foarte mare, topirea are loc la o temperatură bine determinată și întotdeauna constantă (pentru o presiune dată).

Trecerea metalului din stare solidă în stare lichidă și invers, este însoțită de o discontinuitate a variației diferitelor proprietăți cu temperatura. La topire, proprietățile mecanice dispar (rezistența mecanică, duritatea, elasticitatea, reziliența etc.) și are loc o creștere bruscă de volum cu 2 ... 4% (fig. 3.24), cu excepția galiului și bismutului, care la topire se contractă.

Temperatura metalului, în funcție de cantitatea de căldură primită la încălzire, variază continuu, dar cu pante diferite în stare solidă și în stare lichidă (fig. 3.25). În timpul topirii însă, temperatura metalului pur se menține la valoarea constantă a temperaturii de topire, deși se continuă primirea de căldură din exterior. Cantitatea de căldură (energia) necesară la topire pentru învingerea coeziunii dintre atomii din rețeaua cristalină, se numește *căldură latentă de topire*. În tot timpul topirii, căldura primită de metal din exterior, se consumă pentru trecerea din stare solidă în stare lichidă; deci pentru ridicarea temperaturii în continuare nu mai rămîne energie disponibilă. După terminarea topirii în

Scanned with OKEN Scanner

întregime a fazei solide, temperatura sistemului începe din nou să crească, dacă se continuă primirea căldurii (fig. 3.25). Temperatura de topire și căldura latentă de topire (sau solidificare), variază de la metal la metal și valorile lor sînt cuprinse în tabelul 3.1.

Solidificarea, adică trecerea prin cristalizare a metalului din stare lichidă în stare solidă, constă din transformarea așezării dezordonate a atomilor într-o așezare ordonată, după anumite legi riguroase, prin care se formează rețelele cristaline. Procesul de formare a cristalelor din metalul topit, numit *cristalizare primară*, este compus din două procese elementare: unul de *formare a centrelor de cristalizare* (a germenilor de cristalizare) și altul de *creștere a cristalelor* în jurul acestor centre.

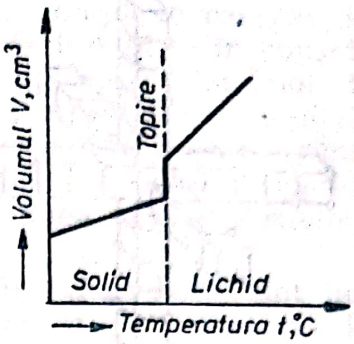


Fig. 3.24. Variația volumului cu temperatura la metale pure.

Cristalizarea unui metal topit, aflat într-un creuzet, are loc în modul reprezentat schematic în figura 3.26. Prin răcire, la temperatura de solidificare, atomii în anumite puncte încep să se ordoneze, formînd primele celule elementare, primele *centre de cristalizare*. Apoi aceste cristale elementare încep să crească prin așezarea ordonată a noilor atomi pe ele, formîndu-se rețele cristaline spațiale. Între timp, mai apar și alte centre de cristalizare, care, de asemenea, pornesc pe drumul creșterii treptate (fig. 3.26, etapa 2 și 3). Spre sfîrșitul solidificării, cristalele, acolo unde încep să se atingă, se împiedică reciproc în creșterea lor liberă, proces care poate să progreseze în continuare numai acolo unde există încă metal topit. În această fază finală, creșterea cristalelor este neregulată, formîndu-se acei *grăunți cristalini* de formă poliedrică, care, ulterior, pot fi bine observați și la microscop. Mărimea cristalitelor este diferită în funcție de momentul cînd a apărut centrul respectiv de cristalizare, adică de timpul disponibil pentru creșterea cristalului respectiv (fig. 3.26, etapa 4).

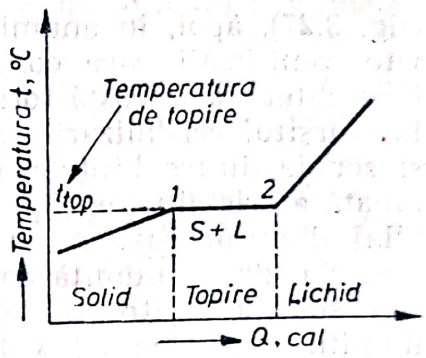


Fig. 3.25. Variația temperaturii în funcție de cantitatea de căldură primită la încălzirea și topirea unui metal pur.

Vitezele de creștere a cristalelor pe diverse direcții pot fi chiar foarte diferite. La început, cristalele cresc în direcția axelor principale

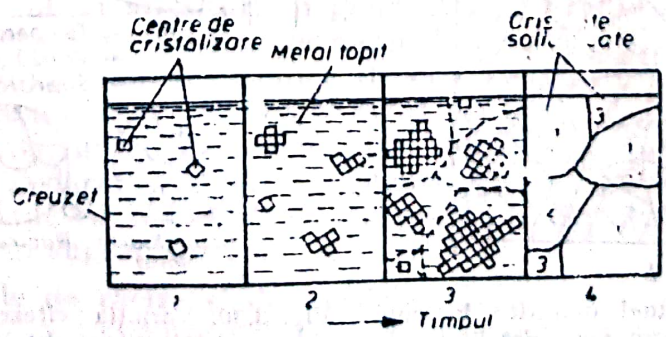


Fig. 3.26. Cristalizarea (solidificarea) unui metal topit și formarea grăunților.

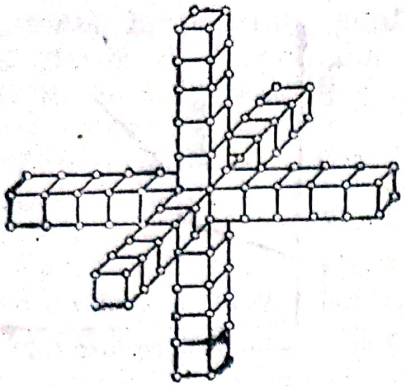


Fig. 3.27. Creşterea cristalelor în prima fază a cristalizării.

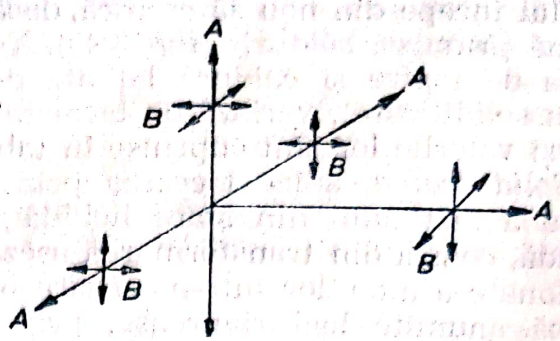


Fig. 3.28. Schema cristalizării dendritice: *A* — direcţii principale; *B* — direcţii secundare.

(fig. 3.27), apoi, în anumite puncte ale braţelor deja formate, apar diferite ramificaţii care continuă să crească şi să se îngroaşe (fig. 3.28). Cristalitele de această formă arborescentă se numesc *dendrite* (fig. 3.29, *a*). La sfîrşitul cristalizării dendritele se ating între ele şi apoi se solidifică şi zonele dintre braţele dendritelor, ajungînd la forma poligonală neregulată a cristalitelor (fig. 3.29, *b*). Deoarece la începutul cristalizării unui aliaj dintr-un sistem cu solubilitate totală se solidifică din lichid un material de o anumită compoziţie, iar restul metalului, care umple ulterior spaţiile dintre braţele dendritelor, este mai puţin pur, apare aşa-numitul fenomen de *segregaţie dendritică*. Deoarece aceste zone, cu compoziţie chimică diferită, se dizolvă în acizi cu viteze diferite, printr-un atac chimic potrivit şi întrerupt la momentul oportun se poate pune în evidenţă structura dendritică a cristalelor reale şi chiar se pot fotografia dendritele prezentate schematic în figurile precedente.

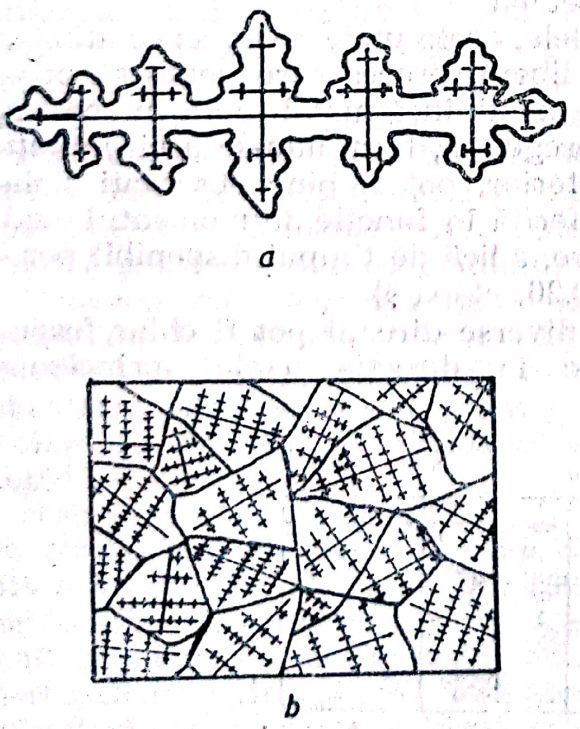


Fig. 3.29. Schema unei dendrite în curs de formare (*a*) şi formarea cristalitelor la sfîrşitul cristalizării din dendritele apărute anterior (*b*).

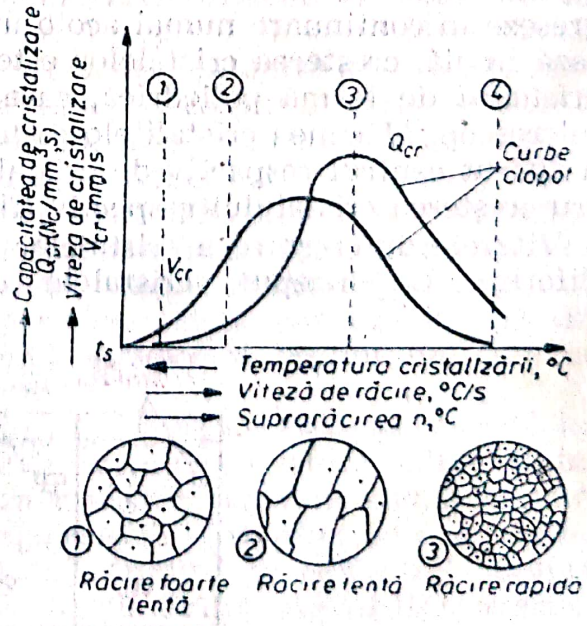


Fig. 3.30. Variaţia vitezei de cristalizare şi a capacităţii de cristalizare în funcţie de suprarăcire.

Scanned with OKEN Scanner

Teoria cristalizării caută să explice fenomenele complexe care au loc în timpul solidificării metalelor și a aliajelor, încercînd să ia în considerare factorii numeroși care determină mărimea și forma cristalelor din structura acestora, cum ar fi: temperatura de supraîncălzire a metalului topit, temperatura de turnare, rolul impurităților solide care au rămas în metalul topit, condițiile turnării, viteza de răcire a semifabricatului turnat, conductivitatea materialului formei, mărimea piesei turnate și grosimea pereților acesteia etc.

În diagrama schematică a condițiilor cristalizării (fig. 3.30), sînt luați în considerare numai cei doi factori principali: *viteza de cristalizare* V_{cr}, adică viteza de creștere liniară a cristalelor, în mm/s și *capacitatea de cristalizare* Q_{cr} care ne dă numărul de centre de cristalizare N_c apărute în unitatea de timp și de volum (N_c/s · mm³), care la rîndul lor sînt funcție de viteza de răcire, de temperatura cristalizării, respectiv de *suprarăcire*. Cu ajutorul acestei diagrame se poate determina aproximativ finețea structurii și durata cristalizării.

La o răcire foarte lentă (ordonata *1* din fig. 3.30), capacitatea de cristalizare este foarte mică, dar și viteza de cristalizare fiind mică, cristalele nu pot crește prea mult și între timp apărînd și noi centre, se obține o structură relativ grosolană. La o răcire ceva mai rapidă (ordonata *2*), la început se formează tot foarte puține centre de cristalizare, dar viteza de creștere a cristalelor fiind destul de mare, aceste puține cristale cresc rapid și solidificarea se termină fără să mai fie timp pentru apariția multor centre noi. Se ajunge astfel la o structură cu totul grosolană, deci nefavorabilă. În cazul unei răciri rapide (ordonata *3*), capacitatea de cristalizare fiind mare, apar multe centre de cristalizare. Cu toate că și viteza de creștere a cristalelor este mare, cristalitele nu vor putea să crească la dimensiuni mai mari fiindcă repede se vor atinge între ele și solidificarea se termină. Se obține deci, la viteze mari de răcire, totdeauna o structură fină. Pe ramura descendentă, din dreapta, a curbelor clopot, nu pot ajunge metalele, ci doar unele materiale (de exemplu sticla) care se solidifică în formă amorfă (ordonata *4*).

Ca centre de cristalizare pot servi *germenii proprii*, adică atomii ordonați, părticelele de metal netopite, sau *germenii străini* de asemenea netopiți, prezenți în masa topită de metal, formați din impurități cu punct de fuziune mai ridicat (oxizi, carburi, alte elemente de aliere). De aici se pot desprinde cîteva concluzii importante pentru practica de obținere a produselor metalice prin turnare:

— la metalele pure, după turnare se obține o structură grosolană din cauza lipsei germenilor străini;

— la aliaje se obțin structuri în general mai fine, din cauza elementelor de aliere care pot constitui germeni de cristalizare, sau pot favoriza apariția unui număr mare de centre de cristalizare în baia metalică (de exemplu oțelurile aliate cu Ni, Mo, V etc.);

— metalele puternic supraîncălzite peste temperatura de topire înaintea turnării, în general, vor avea o structură mai grosolană, din cauza numărului mai mic al centrelor de cristalizare, germenii fiind în mare parte distruși prin supraîncălzire.

3.2.2.2. **Curbele de răcire și de încălzire.** La *analiza termică* urmărind variația în timp a temperaturii corpurilor metalice supuse răcirii sau încălzirii, în primul caz se obține o curbă exponențială, iar la încălzire o curbă logaritmică (fig. 3.31). Dacă un metal topit este răcit treptat

Scanned with OKEN Scanner

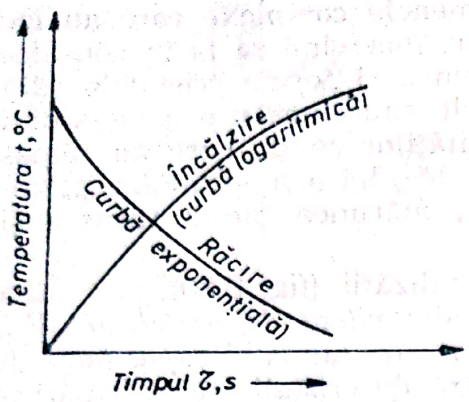


Fig. 3.31. Variația temperaturii în timpul încălzirii sau răcirii metalelor.

pînă la temperatura ambiantă, se obține *curba de răcire* completă a metalului respectiv. Instalația pentru ridicarea curbelor de răcire sau de încălzire, prezentată schematic în figura 3.32, se compune dintr-un cuptor electric reglabil, un creuzet cu metalul studiat, un termocuplu, un vas Dewar pentru menținerea la temperatură constantă a sudurilor reci de la termocuplu, milivoltmetrul gradat direct în °C și un cronometru.

Dacă se urmărește răcirea unui metal pur, topit anterior în această instalație, de exemplu a unei topituri de plumb (fig. 3.33), se observă că temperatura scade în funcție de timp, curba coborînd lin atîta vreme cît metalul topit nu suferă nici o schimbare de stare. La atingerea temperaturii de 327°C, pe curba de răcire a plumbului apare un *palier*, temperatura măsurată rămînînd constantă în tot timpul solidificării metalului, deși creuzetul continuă să piardă căldură. Acest lucru se explică prin degajarea de căldură care însoțește solidificarea (căldura latentă de solidificare). Cînd se termină solidificarea, temperatura începe să scadă din nou, curba reluîndu-și mersul normal, pînă la temperatura ambiantă.

Toate metalele pure se solidifică la o temperatură constantă, avînd curbe de răcire similare cu cea a plumbului, numai temperatura de solidificare variază de la metal la metal. Un astfel de punct, care arată o transformare produsă în metal sau aliaj, se numește *punct critic*.

La o răcire mai rapidă (curba *B* din fig. 3.34), temperatura poate să scadă cu ceva sub temperatura de solidificare t_s, palierul fiind la temperatura t_n, avînd loc o *suprarăcire* a metalului topit. Valoarea suprarăcirii n°C, este dată de diferența $n = t_s - t_n$. La unele metale, datorită unei suprarăciri mari, în momentul începerii cu întîrziere a solidificării apar

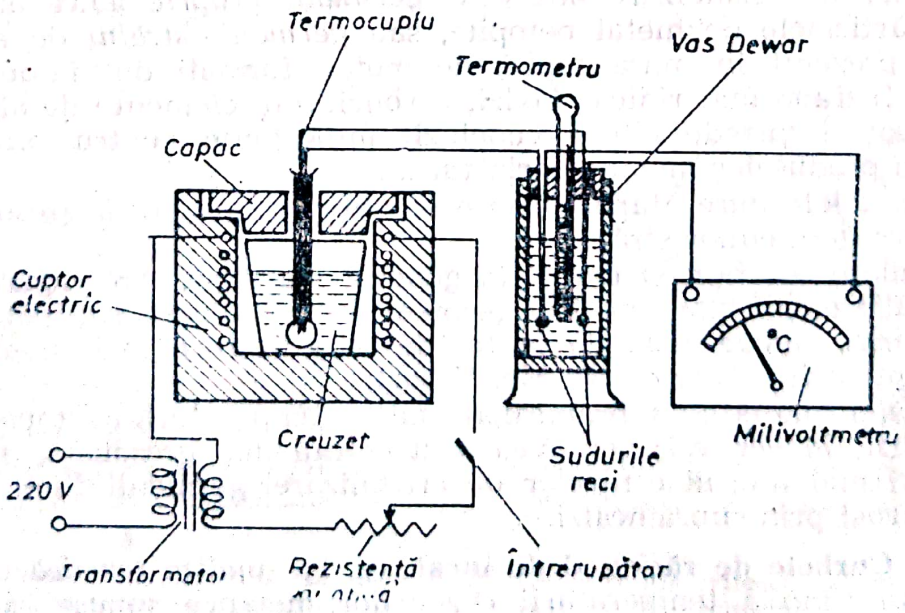


Fig. 3.32. Schema unei instalații pentru ridicarea curbelor de răcire sau de încălzire.

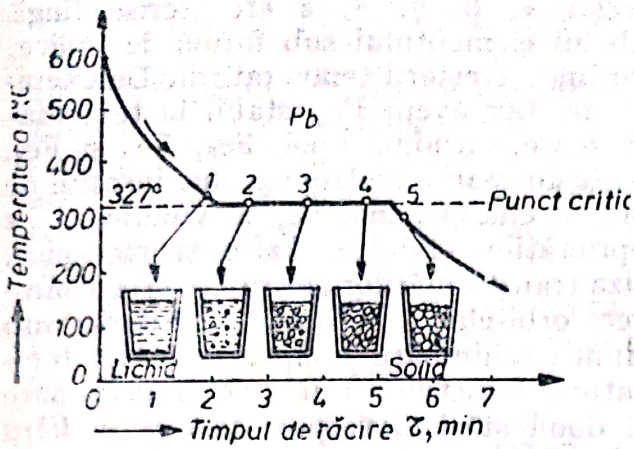


Fig. 3.33. Curba de răcire a plumbului.

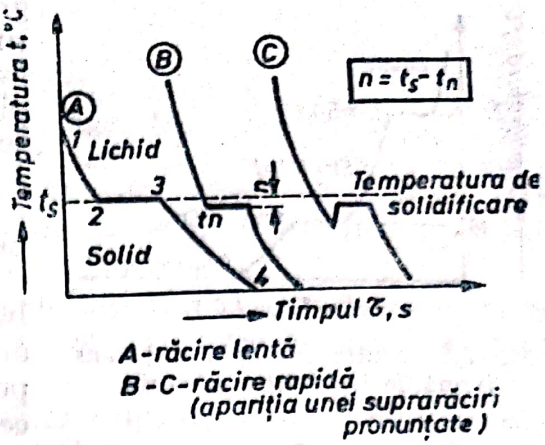


Fig. 3.34. Apariția fenomenului de supra răcire la o răcire rapidă a metalelor topite.

deodată multe centre de cristalizare, iar căldura degajată abundent va fi în stare să ridice cu ceva temperatura metalului în curs de solidificare, după care urmează palierul deja cunoscut (curba *C* din fig. 3.34).

Chiar la răciri și încălziri foarte lente, dacă se ridică experimental atît curba de răcire, cît și cea de încălzire (fig. 3.35), se constată că solidificarea va avea loc la o temperatură t_{ns} mai scăzută, iar topirea la o temperatură t_{nt} mai ridicată, între valorile acestora existînd o mică diferență $H = t_{nt} - t_{ns}$. Fenomenul se numește *histerezis termic*, prin analogie cu cel magnetic, și se datorește unor întîrzieri atît la solidificare, cît și la topire, existînd o mică diferență între punctele critice respective.

3.2.2.3. Transformările alotropice ale metalelor. S-a constatat că unul și același metal poate avea, la diferite temperaturi, structuri cristaline în sisteme diferite. Această proprietate a unor metale se numește *alotropie* sau polimorfism, iar trecerea de la un sistem de cristalizare la altul poartă denumirea de *modificare alotropică*. Trecerea de la o *stare alotropică* la alta are loc la temperaturi bine determinate, la *punctele critice de transformare alotropică*. Aceste modificări în stare solidă sînt și ele însoțite de degajări sau absorbții de *căldură latentă de transformare*, pe curba de răcire fiind marcate de paliere (fig. 3.36). Stările alotropice se notează cu literele

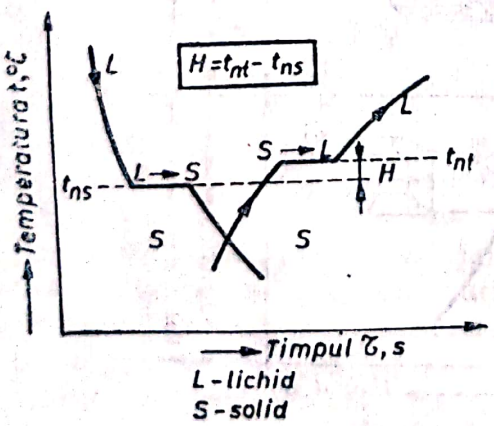


Fig. 3.35. Apariția fenomenului de histerezis termic la solidificarea cu topirea metalelor.

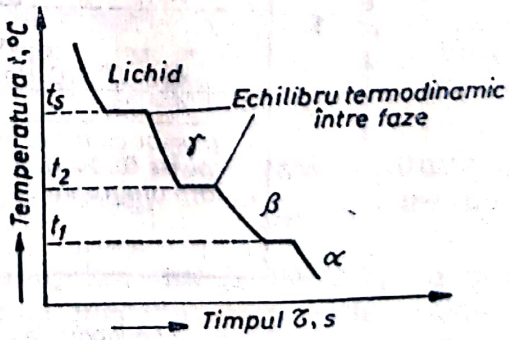


Fig. 3.36. Curba completă de răcire a unui metal cu mai multe transformări alotropice.

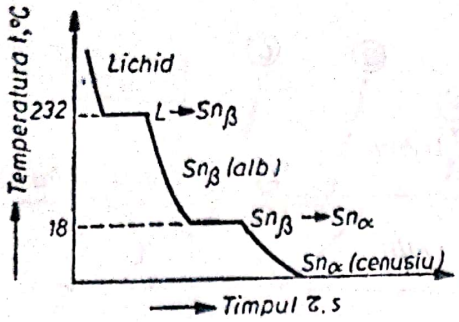


Fig. 3.37. Alotropia staniului și transformările la răcirea acestuia.

greceşti α, β, γ, δ, ε etc. scrise lîngă simbolul elementului sub formă de indice, în ordinea creşterii temperaturii. De exemplu, la fier avem Fe_α stabil la temperaturi joase, urmînd apoi Fe_β, Fe_γ şi Fe_δ.

Transformările alotropice sînt însoţite de variaţia energiei interne, a volumului, a proprietăţilor chimice, fizice şi mecanice. Cauza transformărilor alotropice este schimbarea orbitelor electronilor periferici sub acţiunea schimbării temperaturii. La temperatura punctului critic de transformare cele două stări alotropice sînt în *echilibru termodinamic*. La temperaturi diferite de aceasta, numai una dintre cele două stări poate să fie stabilă, cealaltă stare alotropică putînd fi cel mult în stare metastabilă, fiind suprarăcită sau supraîncălzită. Un exemplu tipic, în acest sens prezintă alotropia staniului (fig. 3.37).

O importanţă extrem de mare prezintă în practică *alotropia fierului* (fig. 3.38). Sub 912°C este stabil fierul α care cristalizează în sistemul cubic cu volum centrat. Între 912 şi 1394°C se întinde domeniul de stabilitate al fierului γ cu sistemul cubic cu feţe centrate, care la 1394°C se transformă din nou, revenind la sistemul cubic cu volum centrat al fierului α, fiind notat cu litera δ (Fe_δ). La încălzire, peste temperatura de 770°C, fierul α îşi pierde proprietăţile magnetice, fiind uneori notat cu litera β, deşi sistemul de cristalizare nu se schimbă. Punctul critic de la 770°C reprezintă punctul *Curie* al fierului.

Punctele critice determinate la răcire, se notează cu Ar_4, Ar_3, Ar_2 şi Ar_1, iar cele determinate la încălzire, care diferă puţin de primele dato-

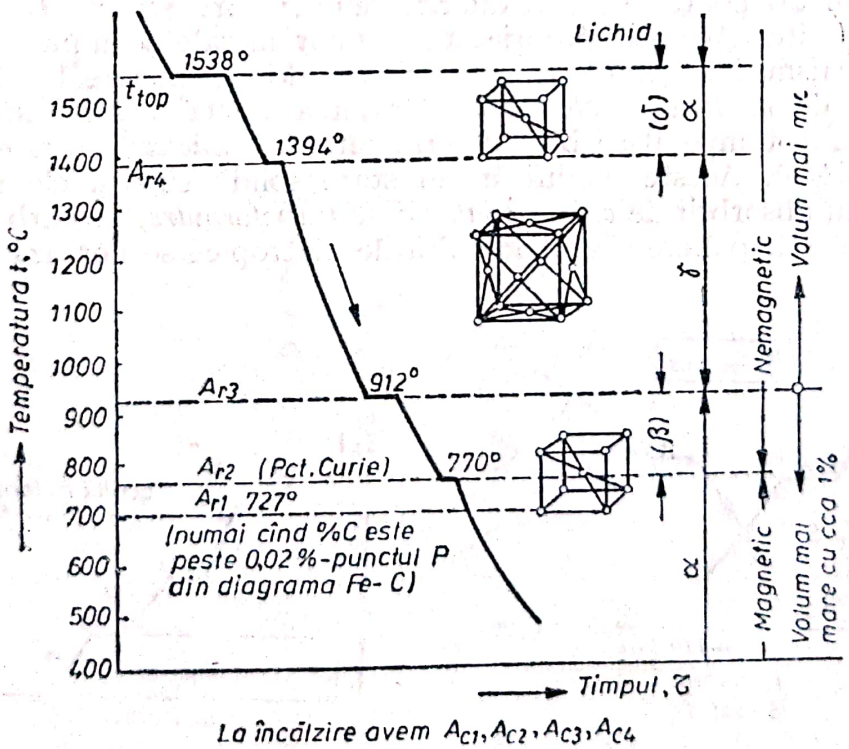


Fig. 3.38. Curba de răcire a fierului pur şi transformările alotropice la diferitele puncte critice.

rită fenomenului de *histerezis termic*, se notează cu Ac_4, Ac_3, Ac_2 şi Ac_1 (A = arrêt, r = refroidissement, c = chauffage, din limba franceză). Punctul A_1 de la 727°C nu apare la fierul pur, deci nici pe curba de răcire a acestuia nu va fi aici palier, deoarece transformarea marcată de acest punct critic, există numai la oţeluri şi fonte, care au un conţinut de carbon mai mare de 0,02% C.

Din punct de vedere practic, cea mai importantă este transformarea $Fe_\alpha \rightleftarrows Fe_\gamma$ la punctul critic A_3, unde apare şi o variaţie bruscă a volumului cu 1% (v. fig. 3.38).

Fierul α avînd sistemul cubic cu volum centrat, dizolvă foarte puţin carbon (maximum 0,02% la 727°C), formînd soluţia solidă denumită *ferită*. Spre deosebire de aceasta fierul γ, avînd sistemul de cristalizare cubic cu feţe centrate, dizolvă cantităţi mai mari de carbon (maximum 2,11% la temperatura de 1148°C), formînd soluţia solidă denumită *austenită*.

Transformarea alotropică la încălzire a fierului α în fier γ este însoţită de formarea unor grăunţi noi, foarte mici. Ulterior, la răcire, în urma transformării inverse $Fe_\gamma \rightarrow Fe_\alpha$, se formează o structură cu grăunţi tot atît de fini, ca şi grăunţii fierului γ de mai înainte, această structură fină, cu proprietăţi foarte favorabile, păstrîndu-se apoi pînă la temperatura mediului ambiant. În consecinţă prin tratamente termice adecvate, folosind transformările alotropice ale fierului, se pot obţine structuri cu grăunţi fini, prin care proprietăţile mecanice şi tehnologice pot fi considerabil îmbunătăţite. Aplicînd acest tratament termic, denumit *recoacere de normalizare*, se poate anula şi consecinţa defavorabilă a *supraîncălzirii*, prin care se obţine o structură grosolană, nedorită.

3.2.3. Teoria aliajelor

3.2.3.1. **Constituenţii structurali ai aliajelor.** Aliajele sînt materiale complexe, obţinute pe calea difuziunii din două sau mai multe elemente, dintre care cel puţin unul, cel de bază, este un metal. Elementele metalice sau nemetalice care formează aliajul se numesc *componenţi*. Totalitatea aliajelor care se pot obţine din aceeaşi componenţi, dar în diferite proporţii, constituie un *sistem*. De exemplu sistemul Cu—Zn (alamele) reprezintă o infinitate de aliaje de la 0 la 100% Zn.

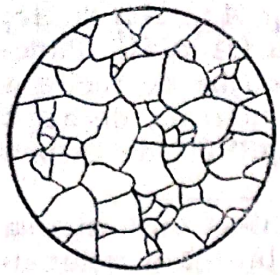
În funcţie de numărul componenţilor, sistemele de aliaje pot fi *binare*, cu doi componenţi (Cu—Zn, Fe—C etc.), *ternare*, cu trei componenţi (Fe—C—Ni, Al—Si—Cu etc.), sau *polinare*, cu un număr mai mare de componenţi, cum sînt, de exemplu, oţelurile rapide, care conţin Fe—C—W—Cr—V—Co şi eventual Mo.

Cercetînd la microscop aliajele, se constată că ele sînt alcătuite dintr-un complex de grăunţi, numiţi *constituenţi structurali*, care pot fi de două feluri: omogeni sau eterogeni.

Constituenţii omogeni ai structurii aliajelor, numiţi şi *faze*, nu pot fi împărţiţi în elemente de altă natură nici mecanic, nici optic, numai pe cale chimică. În aliaje putem întîlni trei feluri de constituenţi omogeni: metale pure, soluţii solide şi compuşi chimici.

Constituenţii eterogeni sînt formaţi din două sau mai multe faze, care pot fi văzute distinct la o mărire corespunzătoare a microscopului, sau pot fi separate prin mijloace mecanice. Un asemenea amestec me-

Scanned with OKEN Scanner



Ex: ferită

Fig. 3.39. Microstructura unui metal pur sau a unei soluții solide omogene.

canic de faze vom întîlni de exemplu la constituenții eterogeni: eutectic și eutectoid.

Metalul pur apare în proba metalografică cercetată la microscop, sub formă de grăunți poliedrici (fig. 3.39).

Soluțiile solide (sau cristalele mixte) sînt amestecuri intime (atomice) de difuziune între componenții *A* și *B*, care se pot dizolva reciproc în diferite proporții. La analiza metalografică prezintă grăunți omogeni, în care nu se pot identifica componenții (fig. 3.39). La analiza röntgenografică se observă un singur tip de rețea cristalină, cea a solventului, care prezintă numai o ușoară variație a constantelor reticulare. Spre deosebire de compusul chimic, soluția solidă poate exista într-un interval de concentrații și nu numai într-un singur raport determinant al componenților. Soluțiile solide cristalizează într-un *interval de temperatură*, spre deosebire de metalele pure care se solidifică la o temperatură dată.

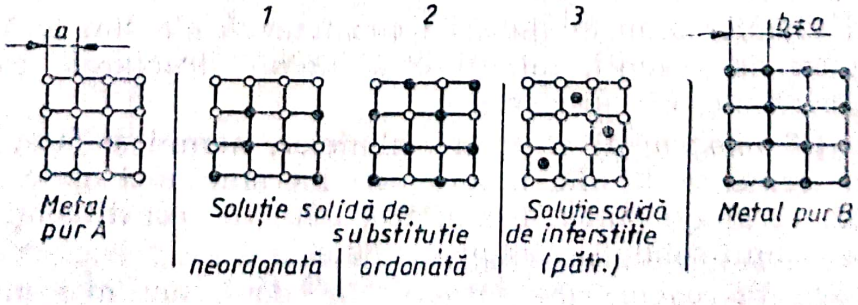
În funcție de modul de alcătuire a rețelei cristaline, soluțiile solide pot fi de substituție sau de interstiție. La *soluția solidă de substituție* sau *de înlocuire*, dizolvarea componentului *B* în componentul *A* are loc prin înlocuirea parțială a atomilor rețelei metalului *A* cu atomi *B*. Dacă atomul elementului dizolvat este mai mic decît atomul solventului, atunci parametrii rețelei se micșorează și invers. În cazul cînd înlocuirea atomilor rețelei de bază se face la întîmplare, avem o soluție solidă de substituție *neordonată* (fig. 3.40, *1*), iar la o înlocuire după o regularitate dată, avem o soluție solidă de substituție *ordonată* (fig. 3.40, *2*).

La *soluția solidă de interstiție* sau *de pătrundere*, atomii componentului dizolvat *B* se așază în spațiile libere ale rețelei de bază (fig. 3.40, *3*). Aici parametrii rețelei totdeauna cresc, deoarece dimensiunile atomilor străini care se dizolvă, sînt totdeauna mai mari decît spațiile libere din celulele elementare ale metalului solvent.

Solubilitatea poate fi *nelimitată*, adică *totală* (de la 0 la 100% *B*), *limitată*, adică *parțială* (de la 0 la *k*% *B*), cînd se ajunge la o *soluție saturată*, sau *limitată și variabilă*, unde limita de saturație variază cu temperatura, solubilitatea micșorîndu-se cu scăderea temperaturii.

Pentru ca doi componenți să prezinte o solubilitate totală, trebuie să fie îndeplinite următoarele condiții:

a — rețeaua cristalină să fie identică la ambii componenți;
b — să existe o diferență cît mai mică între razele atomice ale componenților;
c — elementele să fie învecinate în tabloul periodic.



Solubilitate: nelimitată, limitată, variabilă. Ex.: austenita

Fig. 3.40. Structura rețelelor atomice ale soluțiilor solide.

Scanned with OKEN Scanner

Astfel, de exemplu, metalele Cu—Au sau Au—Ag, formează soluții în orice proporție, de la 0 la 100%. Cînd condițiile *b* și *c* sînt satisfăcute într-o măsură mai mică, apare o solubilitate limitată.

La soluțiile de pătrundere, diametrul atomilor *B* trebuie să fie mic pentru ca să poată pătrunde în rețeaua metalului *A*. Cînd o anumită parte din spațiile libere este deja ocupată, soluția devine saturată.

Cînd două metale formează soluții solide, rezistivitatea acestor aliaje crește considerabil față de cea a metalelor respective pure. De exemplu atît Ni, cît și Cu, în stare pură au o conductivitate electrică bună, dar prezentînd o solubilitate nelimitată, aliajele lor sînt utilizate ca rezistențe electrice (constantan, nichelină, manganină).

Compușii chimici se caracterizează prin următoarele: elementele *A* și *B* sînt într-o proporție definită, exprimată de formula $A_m B_n$; au o rețea cristalină proprie, diferită de a elementelor *A* și *B;* au o temperatură de topire dată, la fel ca metalele pure. Ca exemplu, *cementita* din sistemul fier-carbon, cu formula Fe_3C, are o rețea cristalină ortorombică, conținutul de carbon este de 6,67% și se topește la circa 1227°C.

Compușii chimici, în general, sînt duri și fragili, putînd uneori cauza obținerea unor aliaje cu o duritate excesivă și cu o fragilitate ridicată. Dacă însă prin anumite tratamente se realizează o dispersie fină și uniformă a compușilor chimici în masa aliajului, ei măresc mult rezistența mecanică și duritatea acestuia, fără să se ajungă la o fragilitate supărătoare, dar se micșorează, în același timp, proprietățile de plasticitate.

Soluțiile solide pe baza unui compus chimic apar atunci cînd într-un compus chimic $A_m B_n$ se dizolvă unul din componenții lui, deci *A* sau *B*, sau un alt element *C*. Ca exemplu, în oțelurile aliate se întîlnește cementita aliată cu W, cînd wolframul se dizolvă în Fe_3C.

Compușii electronici se caracterizează printr-un raport bine determinat între numărul electronilor de valență și numărul de atomi. Fiecărui raport îi corespunde o rețea cristalină proprie și o formulă de combinație chimică. Acești compuși electronici se întîlnesc în multe aliaje tehnice din sistemele Cu—Zn, Cu—Sn, Cu—Si, Fe—Al etc.

Compușii de pătrundere sînt formați din metalele grupelor de trecere cu metaloizii cu raze atomice mici: H, N, C, B. Se formează atunci cînd raportul între raza atomică a metaloidului, r_X și raza atomică a metalului, r_M este mai mic decît 0,59: $r_X/r_M \leqslant 0{,}59$. Au o rețea metalică simplă, în care pătrund în goluri atomii mici ai metaloidului. Ei sînt compuși chimici, corespund formulelor M_4X, M_2X, MX, MX_2, au proprietăți metalice (luciu, conductivitate). Au un rol foarte important în constituția oțelurilor, în special în cele aliate. Carburile, nitrurile sînt extrem de dure și modifică prin dispersiunea lor proprietățile mecanice. Cîteva exemple de compuși de pătrundere: Fe_4N, Fe_2N, Mo_2N, TiC, W_2C, WC, Mo_2C, VC etc.

3.2.3.2. **Clasificarea aliajelor binare.** Sistemele de aliaje, respectiv diagramele de echilibru care le caracterizează, se pot clasifica după solubilitatea componenților în stare lichidă, respectiv în stare solidă. Deoarece solubilitatea în stare lichidă prezintă din punct de vedere practic o importanță mai mică, majoritatea sistemelor în stare lichidă avînd o solubilitate totală a componenților, vom da numai clasificarea aliajelor binare după solubilitatea lor în stare solidă:

Scanned with OKEN Scanner

1 — sisteme cu solubilitate totală, în care după solidificare se formează o singură soluție solidă omogenă, indiferent de proporția componenților. De exemplu Sb—Bi, Cu—Ni, Ag—Au, Co—Ni etc.;

2 — sisteme cu solubilitate limitată, a căror componenți formează soluții solide, dar numai pînă la anumite limite de concentrații, pînă la *limita de saturație.* În celelalte intervale de concentrații apar amestecuri de soluții solide saturate. Aceasta este cazul cel mai frecvent întîlnit în practică. De exemplu Fe—C, Cu—Sn, Cu—Zn, Cu—Al etc.;

3 — sisteme cu insolubilitate totală, unde în timpul solidificării componenții se separă din faza lichidă, formînd un amestec mecanic. De exemplu Pb—Sb, Fe—Pb, Ag—Pb etc.

3.2.3.3. **Diagramele de echilibru.** Diagramele de echilibru indică variația stării unui sistem de aliaje în funcție de temperatură și concentrație. Ele reprezintă imagini clare, de ansamblu, a proceselor de cristalizare a aliajelor. Pe aceste diagrame se pot determina fazele în echilibru, corespunzătoare unei răciri foarte lente.

Diagramele de echilibru permit studierea sistematică a naturii aliajelor, determinarea microstructurii acestora. Deoarece proprietățile tehnologice și de exploatare ale aliajelor sînt determinate în mare măsură de microstructura lor, cunoașterea diagramelor de echilibru este foarte importantă din punct de vedere științific și practic. Diagramele mai arată dacă pot fi îmbunătățite sau nu proprietățile unui aliaj dat, prin aplicarea unor tratamente termice adecvate, făcînd posibilă și determinarea temperaturilor optime la care se vor încălzi materialele în timpul acestor tratamente termice.

Diagramele de echilibru arată temperaturile sau intervalele de topire, respectiv de solidificare a aliajelor și toate transformările care vor avea loc în stare solidă, dacă există asemenea transformări. În principiu, diagrama fiecărui sistem de aliaje diferă de celelalte diagrame, totuși, în general, ele pot fi reduse la anumite *tipuri fundamentale de diagrame de echilibru.*

Curbele de răcire la aliaje diferă de curbele de răcire ale componenților puri, deoarece aliajele se solidifică sau se topesc, în general, într-un interval de temperatură, spre deosebire de metalele pure, care se solidifică la o temperatură bine determinată. Deci curbele de răcire ale aliajelor vor avea, în general, două discontinuități: *începutul solidificării* (la temperatura t_1) și *sfîrșitul solidificării* (la temperatura t_2). Cristalizarea sau topirea are loc prin urmare între temperaturile t_1 și t_2.

În funcție de solubilitatea componenților în stare solidă și de natura cristalizării, la aliaje vom întîlni patru tipuri de curbe de răcire:

— *a* (fig. 3.41, *a*) pentru sistemele cu solubilitate totală în stare solidă, unde între punctele *1* și *2* cristalizează o singură fază, soluția solidă α;

— *b* (fig. 3.41, *b*) pentru sistemele cu insolubilitate sau cu solubilitate limitată în stare solidă, la care se separă întîi o fază (un metal pur *A* sau o soluție solidă α), rămînînd între punctele *1* și *2* încă și o soluție lichidă *L*, între punctele *2* și *3*, la temperatură constantă, are loc cristalizarea simultană a unui amestec mecanic de două faze, a unui *eutectic* format fie din componenții $A + B$, fie din două soluții solide saturate $\alpha_C + \beta_D$;

— *c* (fig. 3.41, *c*) apare în cazul sistemelor cu insolubilitate totală atît în stare lichidă, cît și solidă. Curba de răcire prezintă două paliere: la temperatura t_1 se solidifică metalul pur *A*, iar la t_2 metalul *B*;

Scanned with OKEN Scanner

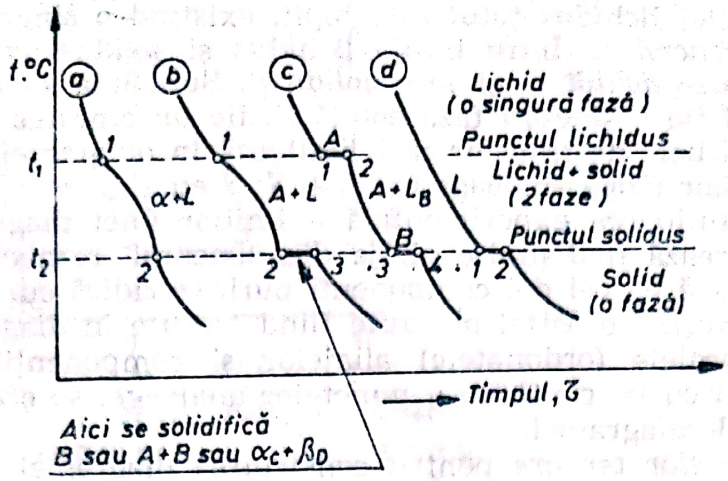


Fig. 3.41. Tipurile curbelor de răcire întîlnite în sistemele binare de aliaje.

— *d* (fig. 3.41, *d*) este curba de răcire cunoscută, cu o singură discontinuitate, caracteristică cristalizării unui *metal pur* la temperatură constantă. O curbă identică se mai obține și în cazul unui *compus chimic* sau a unui *aliaj eutectic*. Deci acest tip de curbă de răcire va fi întîlnit în trei cazuri.

Structura diagramelor de echilibru binare. Pe ordonată se trec temperaturile, iar pe abscisă concentrația componenților *A* și *B* de la 0 la 100% (fig. 3.42). De obicei pe abscisă se notează numai concentrația lui *B*, scara concentrației componentului *A* reprezentînd diferența pînă la 100%, deoarece $A\% + B\% = 100\%$.

Ordonatele marginale ale diagramei corespund componenților puri *A* și *B*, iar un aliaj, cu o anumită compoziție, este reprezentat de o ordonată ridicată în punctul corespunzător al scării concentrațiilor. De exemplu în figura 3.42 ordonata punctată corespunde aliajului *I* cu 25% *B* și 75% *A*. Interpretarea răcirii sau încălzirii aliajului dat se face urmărind ordonata aliajului și observînd ce linii intersectează în diagrama de echilibru și ce domenii străbate.

Punctele de discontinuități ale curbelor de răcire ridicate pentru diferite aliaje ale sistemului (punctele de început și de sfîrșit ale solidificării și eventualele puncte de transformări în stare solidă) sînt trecute în diagramele de echilibru, unde locul geometric al tuturor punctelor de transformare analoagă ne va da cîte o *curbă de transformare*. Astfel punctele *1*, de început de solidificare ale aliajelor sistemului, ne dau *curba lichidus*, iar punctele *2*, de sfîrșit de solidificare, marchează *linia solidus*.

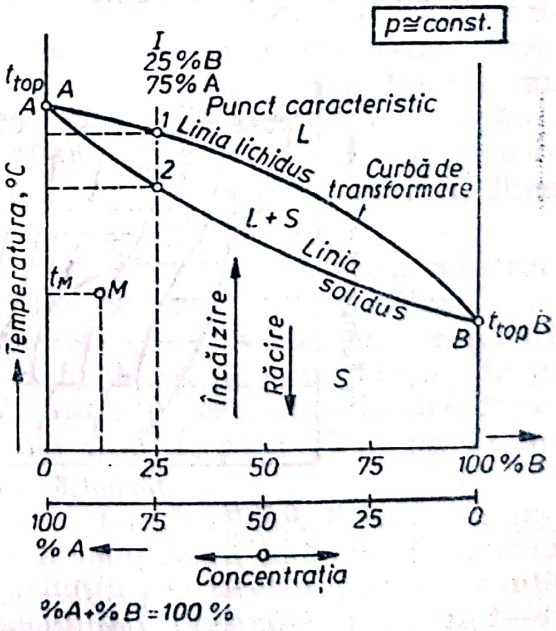


Fig. 3.42. Structura diagramelor de echilibru binare.

Deasupra liniei lichidus totul este topit, existînd o singură fază, *soluția lichidă omogenă L*. Între liniile lichidus și solidus avem două faze în echilibru: *faza lichidă L* și *faza solidă S*. Sub linia solidus totul este solid, întîlnind fie o singură fază solidă *S*, fie un amestec de mai multe faze solide. Curbele de transformări limitează în diagramele de echilibru *domeniile* stărilor fizice analoage (*L*; *L* + *S*; *S* etc.).

Pentru determinarea experimentală a liniilor unei diagrame de echilibru se elaborează mai multe aliaje din sistemul respectiv și pentru acestea, împreună cu cei doi componenți puri, se ridică curbele de răcire. Punctele caracteristice astfel obținute fiind trecute în diagrama de echilibru pe verticalele (ordonatele) aliajelor și componenților respectivi, prin legarea cu curbe continue a punctelor analoage, se obțin curbele de transformare ale diagramei.

În cazul *aliajelor ternare* pentru construirea diagramelor de echilibru avem nevoie de două axe de concentrații și una de temperatură, ajungînd la diagrame spațiale. La sistemele polinare, cu mai mult de trei componenți, construirea diagramelor de echilibru ar necesita un spațiu cu patru sau mai multe dimensiuni, ceea ce face ca aceste sisteme să fie reprezentate prin construcții de simplificare. Studiul lor este extrem de complicat.

3.2.3.4. **Diagrame cu insolubilitate totală în stare solidă.** Determinîndu-se curbele de răcire pentru componenții puri *A* și *B*, precum și pentru un număr cît mai mare de aliaje ale sistemului (în cazul fig. 3.43 pentru aliajele cu 20, 40, 60 și 80% *B*, restul *A*) și transpunînd punctele critice astfel găsite în diagrama de echilibru pe ordonatele corespunzătoare, se obține linia lichidus *AB* și linia solidus *ACB*. Deasupra liniei lichidus totul este topit. Între liniile lichidus și solidus avem lichid plus solid. Sub linia solidus totul este solid. Cu litera *A* se notează punctul de topire (sau solidificare) a componentului pur *A*, iar cu litera *B* punctul de topire a componentului pur *B*.

Interpretarea diagramei permite explicarea cineticii cristalizării sau topirii unui aliaj de o compoziție dată. Ca exemplu, să luăm un aliaj *I*

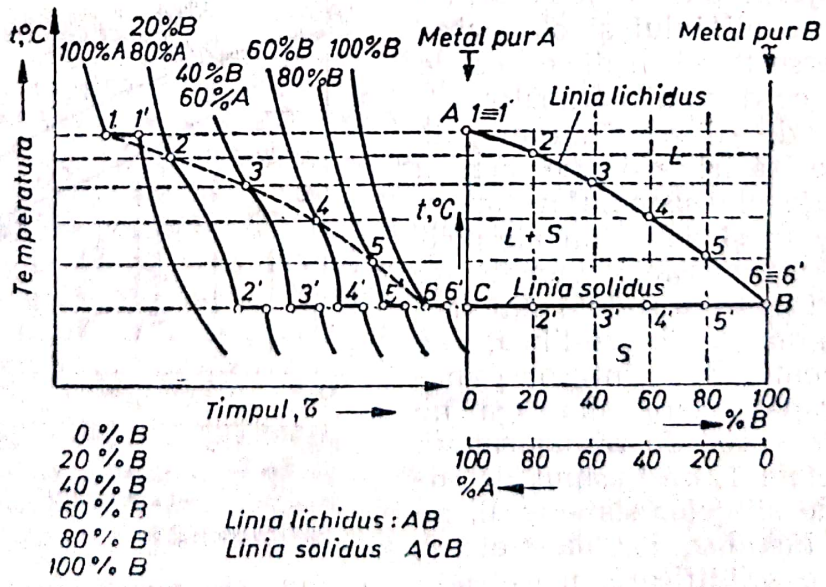


Fig. 3.43. Modul de construire a diagramei de echilibru la un sistem cu insolubilitate totală în stare solidă.

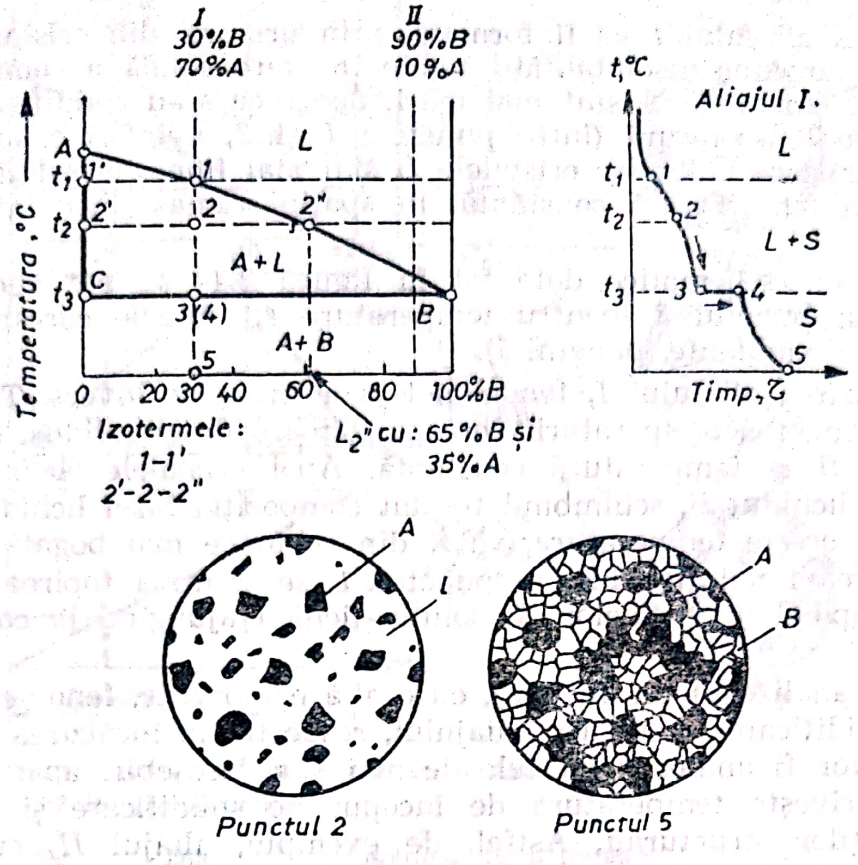


Fig. 3.44 Diagramă de echilibru cu insolubilitate totală în stare solidă.

cu 30% *B* și 100 — 30 = 70% *A*, reprezentat prin ordonata dusă la 30% *B*, pentru care vom urmări fenomenele din timpul răcirii sau încălzirii (fig. 3.44).

Răcindu-se aliajul topit, peste temperatura t_1, corespunzătoare punctului *1*, avem o soluție lichidă omogenă, iar la intersectarea liniei lichidus, în punctul *1*, începe solidificarea. Pentru determinarea naturii fazei solide, a primelor centre de cristalizare, se duce o izotermă din punctul *1* pînă la prima linie plină a diagramei. Punctul de intersecție *1'* cu linia solidus fiind proiectat pe scara concentrațiilor, arată că faza solidă, care începe să se separe, are compoziția de 0% *B*, respectiv 100% *A*, fiind formată din cristale de metal pur *A*.

Răcind în continuare aliajul pînă la temperatura t_2, izoterma construită prin punctul *2* va intersecta linia solidus în punctul *2'*, iar linia lichidus în punctul *2"*. Astfel se poate constata că în continuare se separă mai departe cristale de *A* pur, iar lichidul rămas, se îmbogățește din ce în ce mai mult în *B*. La această temperatură t_2, concentrația lichidului, în echilibru cu faza deja solidificată, este dată de punctul *2"* (în exemplul analizat circa 65% *B* și restul *A*).

Sosind la linia solidus, în punctul *3* se termină cristalizarea componentului pur *A*, iar faza lichidă ajunge la compoziția de 100% *B*. Răcind mai departe aliajul, acest lichid se va solidifica la temperatură constantă (t_3), pentru care pe curba de răcire a aliajului *I* corespunde palierul *3—4*. După terminarea completă a solidificării în punctul *4*, urmează răcirea aliajului pînă la temperatura ambiantă, fără să mai apară nici o altă transformare.

Scanned with OKEN Scanner

Structura aliajului *I* va fi formată, prin urmare, din cristale *A* și *B* pur, corespunzător insolubilității totale în stare solidă a componenților sistemului. Cristalele *A* sînt mai mari, deoarece s-au solidificat într-un interval de temperatură (între punctele *1* și *3*, avînd loc suficient în lichid să crească liber, iar cristalele *B* sînt mai fine, ele solidificîndu-se ulterior, la temperatură constantă, în spațiul rămas liber între cristalele *A*.

În desenele schematice date tot în figura 3.44 se pot vedea fazele prezente în punctul *2* (pentru temperatura t_2) și cele corespunzătoare temperaturii ambiante (punctul *5*).

La încălzirea aliajului *I*, fenomenele vor avea loc invers. Topirea începe, la atingerea temperaturii corespunzătoare liniei solidus, cu topirea cristalelor *B* la temperatură constantă. Apoi cristalele *A* încep să se dizolve în lichidul *B*, schimbînd treptat compoziția fazei lichide care, pe măsură ce crește temperatura, va fi din ce în ce mai bogată în *A*. La intersectarea liniei lichidus, în punctul *1*, se termină topirea cu dizolvarea completă a cristalelor *A*, soluția lichidă ajungînd la concentrația aliajului.

Dacă se analizează un alt aliaj, cu o altă compoziție, fenomenele întîlnite la solidificarea și răcirea aliajului, respectiv la încălzirea și topirea acestuia, vor fi analoage cu cele de mai sus. Deosebiri apar numai în ceea ce privește temperatura de început de solidificare și cantitatea constituenților structurali. Astfel, de exemplu, aliajul *II*, cu 90% *B* și 10% *A*, începe să se solidifice la o temperatură mai scăzută și va conține după solidificare o cantitate mult mai mică de cristale *A*.

În practică, diagrama de acest tip se întîlnește, de exemplu, la sistemul cupru-bismut.

Diagrame cu insolubilitate totală în stare solidă și formare de eutectic. Construirea diagramei se face tot prin ridicarea experimentală a curbelor de răcire pentru un număr cît mai mare de aliaje din sistem și transpunerea punctelor critice, găsite, în diagrama de echilibru (fig. 3.45). Prin unirea punctelor de început de solidificare se obține linia lichidus *AEB*, iar punctele de sfîrșit de solidificare determină linia solidus *ACEDB*. Solidificarea tuturor aliajelor din sistem se termină, și în acest caz, la o temperatură constantă. *A* și *B* sînt punctele de topire a componenților *A* și *B*, iar punctul *E* se numește *punct eutectic*.

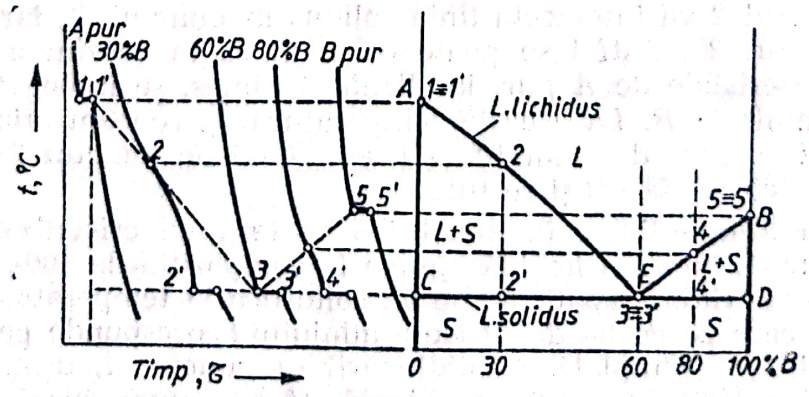


Fig. 3.45. Construirea diagramei cu insolubilitate în stare solidă și formare de eutectic.

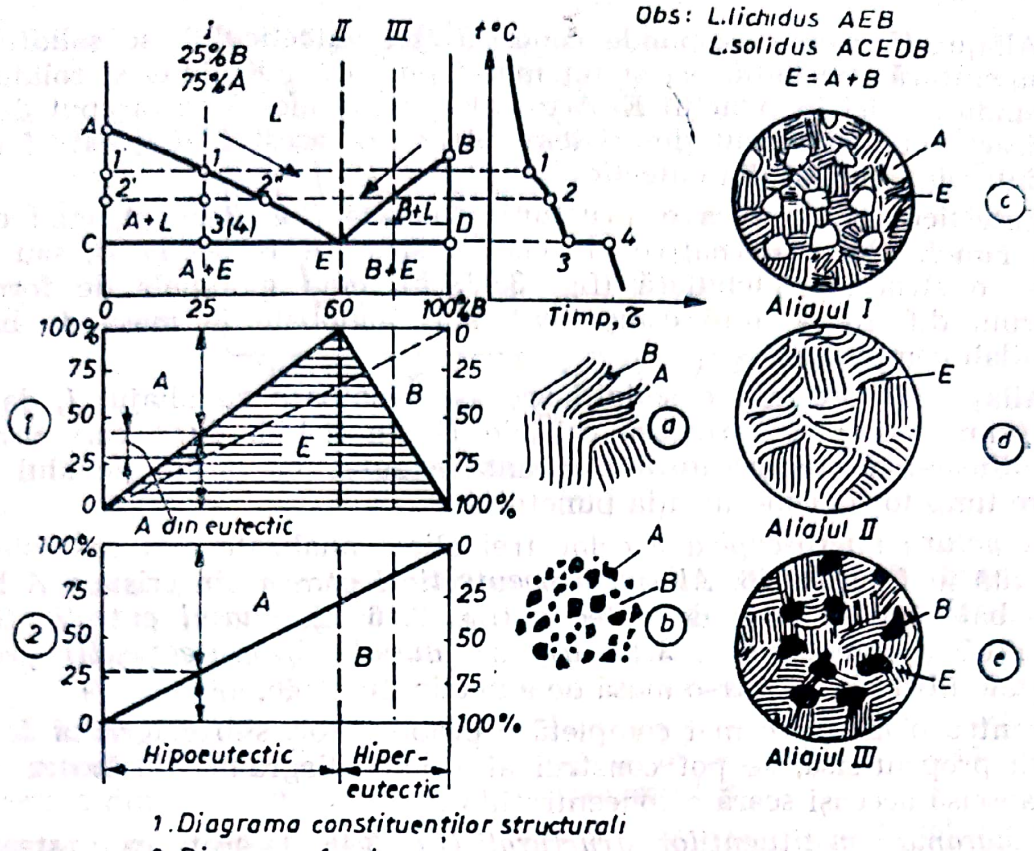


Fig. 3.46. Diagramă cu insolubilitate și formare de eutectic.

Ca un prim exemplu să luăm un aliaj cu 25% *B* (și 75% *A*), reprezentat prin ordonata *I* în figura 3.46. La răcire, cînd în punctul *1* se intersectează curba lichidus, încep să apară primele cristale de *A* pur, deoarece izoterma dusă prin punctul *1* intersectează linia solidus în punctul *1'*, corespunzător concentrației de 100% *A*. Răcind mai departe aliajul, se cristalizează în continuare tot componentul pur *A*, lichidul rămas îmbogățindu-se din ce în ce mai mult în *B*. Ajungînd în punctul *3* la linia solidus, se termină solidificarea lui *A* și lichidul ajunge la compoziția punctului eutectic *E*, care în exemplul nostru este de 60% *B*. Răcind aliajul mai departe, are loc o cristalizare la temperatură constantă, lichidul de concentrație *E* solidificîndu-se sub forma unui amestec mecanic de două faze solide *A* și *B*. Acest constituent structural neomogen se numește *eutectic*. La solidificarea eutecticului cristalizează simultan deci două faze solide, a căror proporție este determinată de compoziția eutecticului.

După terminarea solidificării eutecticului în punctul *4*, deja totul este solid și structura aliajului *I* va fi formată din cristale mai mari de *A* pur și eutectic mai fin. În continuare temperatura începe să scadă din nou, nemaiavînd loc alte transformări pînă la temperatura ambiantă.

Eutecticul este deci un singur constituent structural, eterogen, format prin descompunerea unei soluții lichide la temperatură constantă. *Este un amestec mecanic fin de două* (sau mai multe) *faze*, la analiza microscopică cu o mărire suficient de mare putîndu-se distinge fazele *A* și *B*.

Scanned with OKEN Scanner

Aliajul *II*, care corespunde concentrației eutecticului, se solidifică la temperatură constantă, ca și un metal pur, linia lichidus și solidus întîlnindu-se aici în punctul *E*. Acest aliaj are punctul de început de solidificare cel mai scăzut din sistem. Structura acestui aliaj este formată în întregime numai din eutectic.

Eutecticul poate avea o structură lamelară (fig. 3.46, *a*), cînd constă din lamele fine, alternative, de componentul *A* respectiv *B*, sau poate avea o structură globulară (fig. 3.46, *b*), cînd globulele de forme și mărimi diferite a unui component, sînt înglobate în masa de bază a celuilalt component.

Aliajul *III* prezintă o solidificare asemănătoare cu aliajul *I*, dar aici în prima etapă se formează cristale *B* din lichid, după care urmează solidificarea la temperatură constantă a eutecticului din lichidul ajuns între timp tot la concentrația punctului *E*.

Structura microscopică a celor trei aliaje analizate mai sus este prezentată în figura 3.46. *Aliajul hipoeutectic I* constă din cristale *A* libere, înglobate într-o masă de eutectic (fig. 3.46, *c*), *aliajul eutectic II* este din 100% eutectic (fig. 3.46, *d*), iar *aliajul hipereutectic III* prezintă cristale libere de *B* într-o masă de eutectic (fig. 3.46, *e*).

Pentru o lămurire mai completă a problemelor, sub diagrama de echilibru propriu-zisă, se pot construi alte două diagrame ajutătoare, avînd pe abscisă aceeași scară a concentrațiilor.

Diagrama constituenților structurali (fig. 3.46, *1*) arată cantitatea relativă, în procente, a constituenților structurali din aliajele sistemului. Prelungind ordonata aliajului care ne interesează, segmentele obținute în domeniile diagramei arată în procente cantitatea fiecărui constituent. Astfel se poate citi direct că aliajul *I*, de exemplu, constă din circa 58% cristale *A* și 42% eutectic. La 0% *B* toată structura este formată numai din cristale *A*, la 60% *B* avem numai eutectic, iar la 100% *B* în structură sînt prezente numai cristalele componentului pur *B*, între aceste puncte diagrama prezentînd o variație liniară a cantității constituenților structurali în funcție de concentrație.

Diagrama fazelor (fig. 3.46, *2*), în mod similar, arată cantitatea procentuală a fazelor prezente în aliajele sistemului. Ca exemplu în aliajul *I* avem 25% fază *B* și 75% fază *A*. Dacă linia diagramei fazelor se trasează întrerupt și în diagrama constituenților structurali, se poate citi că în aliajul *I* avem 75% *A*, care se împarte în două părți: 58% este prezent sub formă de cristale *A* libere, iar restul de 17% intră în componența eutecticului. Cantitatea de 25% *B* se găsește în întregime în eutectic.

Atît diagrama constituenților structurali cît și diagrama fazelor se construiesc, de obicei, în așa fel, încît să reflecte situația de la temperatura ambiantă.

3.2.3.5. **Diagrame cu solubilitate totală în stare solidă.** Aici componenții sistemului se dizolvă reciproc în orice proporție, atît în stare lichidă, cît și în stare solidă. Determinarea diagramei de echilibru se face, ca și în exemplele de mai sus, cu ajutorul curbelor de răcire. În aceste sisteme numai curbele de răcire a componenților puri prezintă palier, la toate aliajele întîlnindu-se pe aceste curbe numai cîte două puncte de inflexiune, corespunzătoare începutului și sfîrșitului solidificării (fig. 3.47).

Scanned with OKEN Scanner

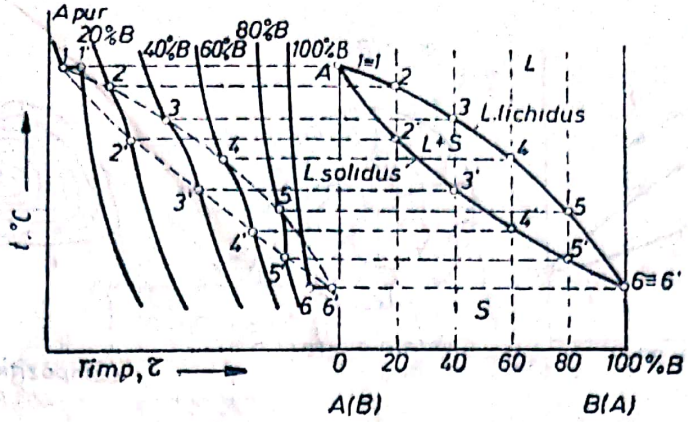


Fig. 3.47. Construirea diagramei cu solubilitate totală în stare solidă.

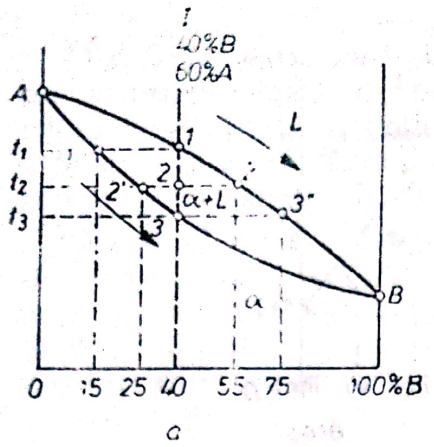
Ca exemplu, să urmărim răcirea aliajului *I* cu 40% *B*. Cînd ordonata aliajului intersectează linia lichidus în punctul *1* din figura 3.48, începe solidificarea cu formarea unor cristale cu compoziția 15% *B* și 85% *A*. Faza solidă, notată cu α, constă din cristale mixte, deci o soluție solidă între *A* și *B*. Deoarece faza solidă, care se cristalizează din lichidul inițial cu 40% *B*, este foarte bogată în *A*, lichidul rămas începe să devină din ce în ce mai sărac în componentul *A*.

Răcind mai departe aliajul, continuă cristalizarea soluției solide α, dar aceasta își schimbă continuu compoziția, îmbogățindu-se în *B*. La temperatura t_2, cînd aliajul se găsește în punctul *2*, punctul *2'* arată că faza solidă are deja 25% *B*, iar punctul *2''*, proiectat pe scara concentrațiilor, dă pentru faza lichidă o compoziție de 55% *B*. Această îmbogățire treptată în *B* atît a fazei solide, cît și a fazei lichide, continuă pînă în punctul *3*, cînd se termină solidificarea aliajului. Ultima „picătură de lichid" dispare cu compoziția punctului *3''*, adică cu 75% *B* și 25% *A*. Sub punctul *3* deja totul este complet solidificat, fiind prezentă o singură fază, cea a cristalelor de soluție solidă α.

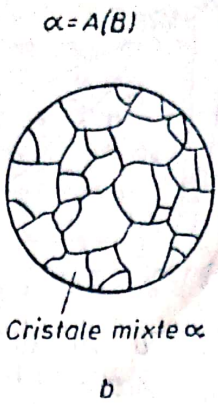
În timpul solidificării, compoziția fazei solide variază între limite chiar foarte largi. Zonele centrale ale cristalelor care au apărut de la începutul solidificării, sînt deosebit de sărace în *B*, conținînd doar 15% B, iar zonele următoare, care s-au format mai tîrziu, sînt din ce în ce mai bogate în *B*. Din ultima picătură de lichid se solidifică ceva cu 75% *B*. Astfel, la o răcire relativ rapidă, teoretic am putea întîlni și cristale care au 15% *B* în centru și 75% *B* în zonele exterioare, limite între care compoziția variază continuu, așa cum este reprezentat schematic în figura 3.49. Compoziția medie a cristalului bineînțeles, rămîne tot 40% *B*, deci compoziția inițială a aliajului. Această neomogenitate a cristalelor de soluție solidă, se numește *segregație dendritică* sau intracristalină. Axele dendritelor, care se formează primele din aliajul lichid, sînt cele mai bogate zone în componentul *A*, iar între ramurile dendritei, zonele care se solidifică ultimele vor fi cele mai sărace în *A*, respectiv cele mai bogate în *B*.

O asemenea stare neomogenă a cristalelor de soluție solidă este însă în afara echilibrului, existînd o tendință spontană de omogenizare prin difuziune, cînd atomii *A*, care sînt în exces în mijlocul cristalului, se vor deplasa spre marginea dendritei, de unde, în schimb, atomii *B* se

Scanned with OKEN Scanner



c



b

Fig. 3.48. Diagramă de echilibru cu solubilitate totală în stare solidă.

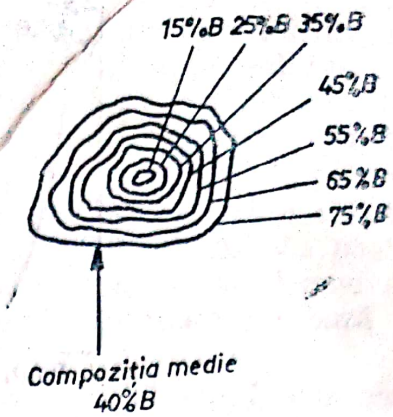


Fig. 3.49. Schema segregației dendritice la un cristal de soluție solidă.

vor deplasa spre centru. Astfel, se poate ajunge la urmă, la cristale omogene de soluție solidă α.

Omogenizarea cristalelor α se va realiza, în bună măsură, deja în timpul solidificării aliajului, dacă aceasta are loc foarte lent. Astfel prin difuziune, cristalele pot să ajungă la compoziția aliajului, obținîndu-se cristale α omogene, de formă poligonală, echiaxială, ca și la metalele pure (fig. 3.48, *b*).

Omogenizarea soluțiilor solide poate fi realizată însă și pe altă cale, prin aplicarea ulterioară a unei *recoaceri de omogenizare,* cînd în piesa turnată, cu segregații dendritice, se mărește considerabil mobilitatea atomilor printr-o încălzire la temperaturi cît mai ridicate, dar situate sub linia solidus, ca să nu înceapă să se topească piesa sau lingoul turnat. Despre acest tratament termic de omogenizare se dau mai multe amănunte în capitolul de tratamente termice.

Asemenea diagrame de echilibru, cu solubilitate totală în stare solidă, pot fi întîlnite în practică la un număr mare de sisteme binare, cum ar fi: Cu—Ni, Cu—Au, Ag—Au, Fe—Cr, Fe—Ni etc.

3.2.3.6. **Diagrame cu solubilitate limitată în stare solidă.** Componentul *A* dizolvă componentul *B* numai pînă la o anumită limită, corespunzătoare punctului *C* (fig. 3.50), unde se ajunge la o soluție solidă saturată de *B* în *A*, notată cu α_C. Invers, cînd se dizolvă *A* în *B*, se ajunge la soluția saturată β_D corespunzător punctului *D*. Între 0 și *c* % *B* avem o soluție solidă α nesaturată (un domeniu monofazic), iar între *d* și 100% *B* tot un domeniu monofazic cu β nesaturat. Între acestea există un domeniu bifazic, cu un amestec de două faze, adică de α saturat (α_C) și de β saturat (β_D), care vor forma și un eutectic *E*.

Linia lichidus este *AEB*, iar linia solidus trece prin punctele *ACEDB*. Eutecticul *E* este $\alpha_C + \beta_D$, deci un amestec mecanic dintre cele două soluții solide saturate.

Aliajul I se solidifică între punctele *1* și *2*, exact în același mod ca orice aliaj din diagrama descrisă mai sus a sistemelor cu solubilitate totală, ajungîndu-se la o soluție solidă nesaturată α.

Urmărind cristalizarea *aliajului II*, nu se constată nici o deosebire pînă în punctul *4*, unde sosim cu o fază solidă α, (care anterior îmbogățindu-se din ce în ce mai mult în *B*, în acest moment a ajuns la satu-

Scanned with OKEN Scanner

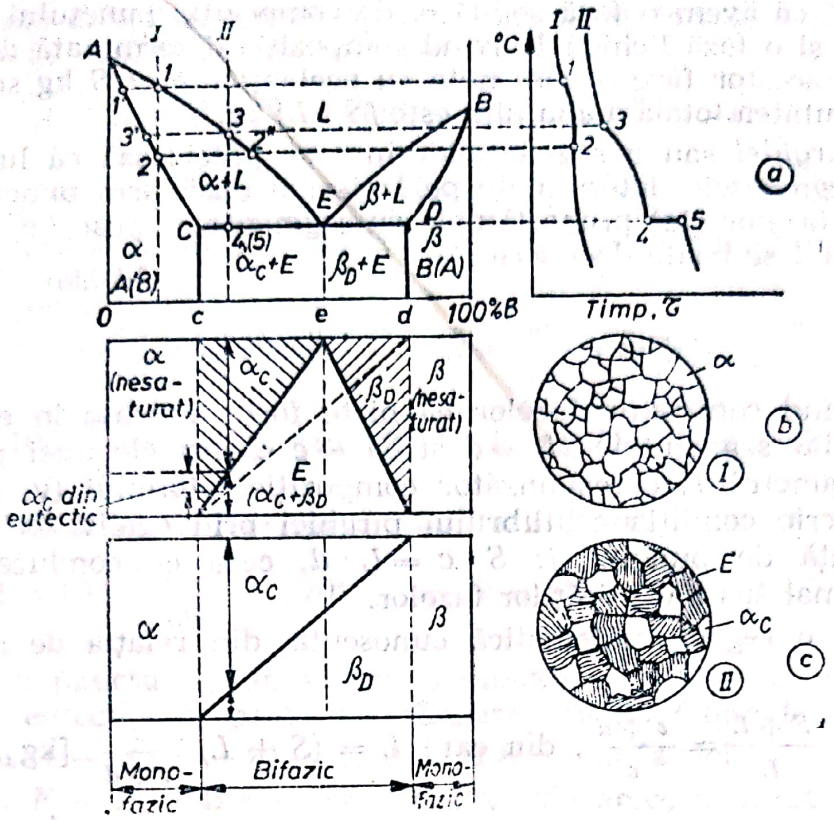


Fig. 3.50. Diagramă de echilibru cu solubilitate limitată în stare solidă.

rație deci este α_C) și cu o oarecare cantitate de lichid, care este acum la compoziția punctului *E*. La această temperatură a punctului eutectic *E*, începe solidificarea lichidului *E*, la temperatură constantă, sub formă de eutectic. După terminarea completă a solidificării în punctul *5* (vezi și curba de răcire a aliajului *II*), structura acestui aliaj *hipoeutectic* va fi formată din cristale mari de α_C și eutectic. La *aliajele hipereutectice* pînă la punctul *D* structura este formată din $\beta_D + E$.

Cele de mai sus sînt confirmate și de diagrama constituenților structurali și de diagrama fazelor. Cantitățile fazelor și a constituenților structurali, pentru orice aliaj, pot fi citite pe prelungirea ordonatelor aliajelor.

Structura microscopică a aliajului *I* și *II* este prezentată în figurile 3.50, *b* și *c*.

3.2.3.7. **Legea pîrghiei.** Legea pîrghiei oferă o metodă semigrafică pentru determinarea cantității fazelor sau a constituenților structurali în orice diagramă de echilibru.

Ca exemplu, să urmărim aliajul *I* dintr-o diagramă cu solubilitate totală (fig. 3.51). La temperatura t_1, izoterma dusă prin punc-

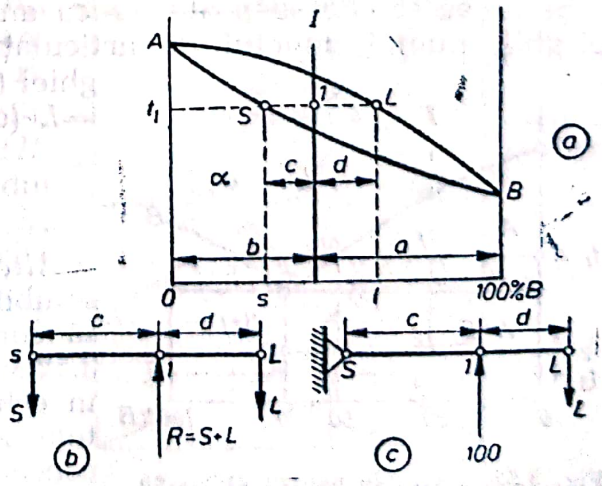


Fig. 3.51. Legea pîrghiei.

tul *1* arată că avem o fază solidă α, de compoziția punctului S respectiv punctul *s*) și o fază lichidă L avînd compoziția determinată de punctul *l*. Cantitatea acestor faze o vom nota cu aceleași litere: S kg solid și L kg lichid. Greutatea totală a aliajului este $(S+L)$ kg.

Legea pîrghiei sau a segmentelor inverse precizează că luînd în considerare segmentele determinate pe izoterma dusă prin punctul analizat, cantitățile fazelor sînt proporționale cu segmentele opuse (acestora). Pentru punctul *1* se poate deci scrie:

$$\frac{S}{L} = \frac{d}{c}.$$

Considerînd cantitățile fazelor ca niște forțe aplicate în extremitățile izotermei, iar segmentele $1L = d$ și $S1 = c$ ca brațele unei pîrghii sprijinite în punctul *1*, corespunzător compoziției aliajului (v. fig. 3,51, *b*) se poate scrie condiția echilibrului pîrghiei prin egalitatea momentelor forțelor față de punctul *1*: $S \cdot c = L \cdot d$, ceea ce conduce tocmai la relația de mai sus a cantităților fazelor.

Aplicînd o regulă matematică cunoscută, din relația de mai sus rezultă:

$$\frac{S+L}{L} = \frac{c+d}{c}, \text{ din care } L = (S+L)\frac{c}{c+d} \text{ [kg]}.$$

În mod analog se obține pentru solid: $S = (S+L)\frac{d}{c+d}$ [kg].

Cu ajutorul acestor relații se poate calcula cantitatea oricărei faze în kg, dacă cunoaștem cantitatea totală a aliajului $(S+L)$ kg și lungimea segmentelor. Astfel, cantitatea unei faze este egală cu cantitatea totală a aliajului înmulțită cu raportul dintre segmentul opus și segmentul total (suma segmentelor).

Dacă vrem să obținem rezultatele în %, se consideră cantitatea totală a aliajului egală cu 100%, deci $S + L = 100\%$. Astfel formulele de mai sus pot fi scrise:

$$L = 100\frac{c}{c+d} \text{ [\%]} \quad \text{și} \quad S = 100\frac{d}{c+d} \text{ [\%]}.$$

Și în acest caz se poate aplica analogia mecanică a echilibrului unei pîrghii, numai punctul de articulație trebuie mutat la capătul pîrghiei (fig. 3.51, *c*). Se va scrie deci $100 \cdot c = L \cdot (c+d)$, de unde rezultă:

$$L = 100\frac{c}{c+d} \text{ [\%]}.$$

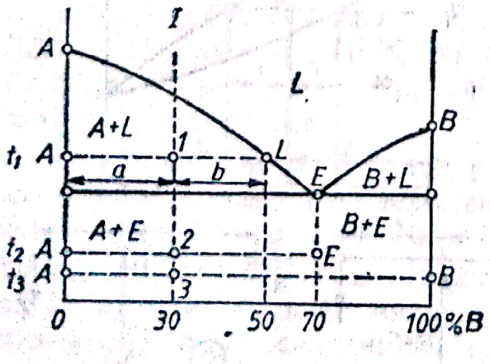


Fig. 3.52. Exemple pentru aplicarea legii pîrghiei.

Alte exemple: Într-o diagramă cu insolubilitate totală și formare de eutectic, să considerăm aliajul hipoeutectic *I* (fig. 3.52). La temperatura t_1, în *punctul 1* sînt în echilibru faza solidă formată din cristale *A* și faza lichidă *L*, care are aici concentrația de 50% *B*. Exprimînd lungimile segmentelor cu valorile punctelor

Scanned with OKEN Scanner

ce pot fi citite direct pe scara liniară a concentrațiilor, deci $a = 30—0 = 30$ și $b = 50—30$, se poate scrie direct:

$$A = 100\,\frac{50-30}{50} = 40\% \text{ și } L = 100\,\frac{30}{50} = 60\%,$$

sau mai simplu: $L = 100 - A = 100 - 40 = 60\%$.

La temperatura t_2, *în punctul 2*, cantitatea constituenților structurali este dată de relațiile:

$$A_{liber} = 100\,\frac{70-30}{70} = 100\,\frac{40}{70} = 57{,}2\%;$$

$$E = 100\,\frac{30}{70} = 42{,}8\% \text{ sau altfel: } E = 100 - 57{,}2 = 42{,}8\%.$$

La temperatura t_3, *în punctul 3*, cantitatea fazelor va fi:

$$A = 100\,\frac{100-30}{100} = 70\%, \text{ iar } B = 100 - 70 = 30\%.$$

Atît pentru punctul *2*, cît și pentru punctul *3*, cantitatea fazei A din componența eutecticului poate fi calculată, făcînd diferența:

$A_{în\ eutectic} = A - A_{liber} = 70 - 57{,}2 = 12{,}8\%$, sau altfel

$A_{în\ eutectic} = E - B = 42{,}8 - 30 = 12{,}8\%$, deoarece la acest aliaj hipoeutectic faza B este prezentă numai în eutectic.

3.2.3.8. **Diagrame cu formare de compuși chimici intermetalici.** În aceste sisteme binare, între componenții A și B, are loc formarea unui compus chimic de forma A_mB_n sau eventual mai mulți compuși chimici, cu diferite rapoarte între A și B. Din această categorie de diagrame vom prezenta două, care diferă în privința solubilității componenților în stare solidă:

a — diagrame cu formare de compuși chimici și cu insolubilitate totală în stare solidă. În acest caz, diagrama sistemului poate fi considerată ca fiind formată din două (sau mai multe) diagrame cu insolubilitate totală, deja cunoscute, așezate una lîngă alta. Între ele se găsește compusul chimic A_mB_n, care se topește la o temperatură constantă și nu într-un interval de temperaturi.

Linia lichidus este AE_1CE_2B (fig. 3.53), iar linia solidus este ADE_1FCGE_2HB, diagrama în ansamblu fiind formată din două diagrame cu eutectic $A - A_mB_n$ și $A_mB_n - B$. În acest sistem apare cîte un eutectic pentru fiecare parte a diagramei. $E_1 = A + A_mB_n$ și $E_2 = A_mB_n + B$. Domeniul CE_1FGE_2C este un singur domeniu, în care avem $A_mB_n + L$ (domeniu haşurat în fig. 3.53).

Urmărind răcirea aliajului I, la intersectarea liniei lichidus începe cristaliza-

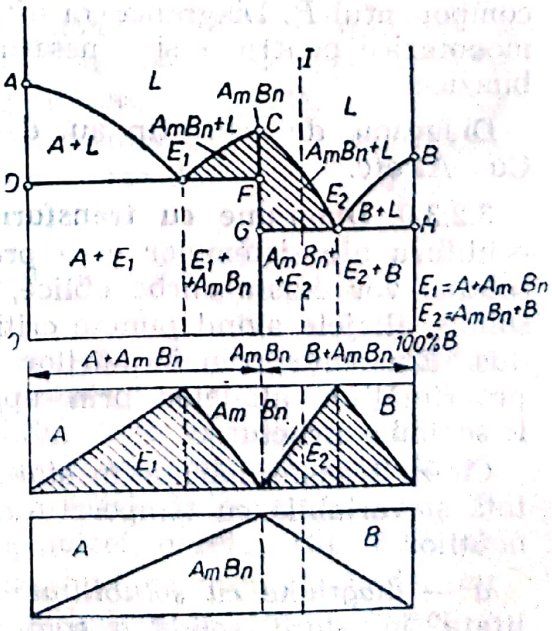


Fig. 3.53. Diagramă cu compuși chimici și insolubilitate totală în stare solidă.

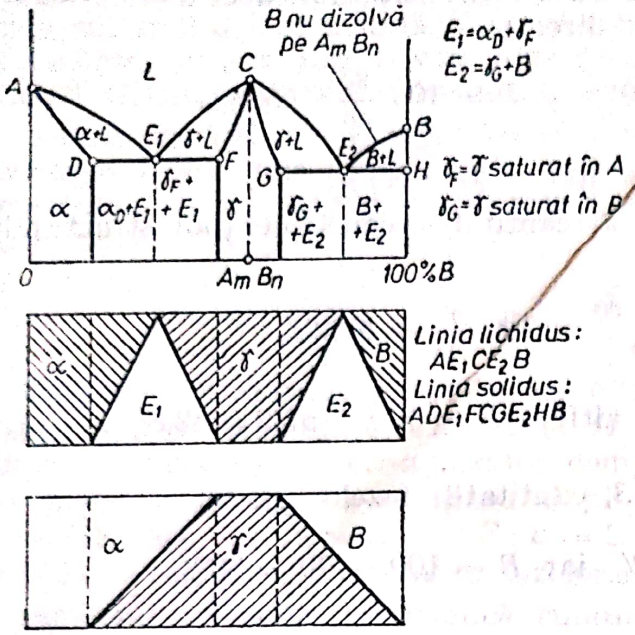


Fig. 3.54. Diagramă cu soluţii solide pe bază de compuşi chimici.

rea compusului chimic A_mB_n, prin care lichidul se va îmbogăţi din ce în ce mai mult în B, ajungînd în final la concentraţia punctului eutectic E_2, unde se va solidifica, la temperatură constantă, sub formă de eutectic E_2. Structura aliajului la temperatura ambiantă va fi deci compusă din cristale de A_mB_n liber şi eutectic.

Diagramele constituenţilor structurali şi a fazelor pot fi uşor construite pe baza principiilor stabilite la discutarea diagramelor de mai sus.

În practică se întîlnesc diagrame de acest tip la sistemele binare Mg—Ca, Al—Sb şi altele;

b — diagrame cu formare de compuşi chimici şi cu solubilitate limitată în stare solidă (cu formare de soluţii solide pe bază de compuşi chimici). Diagrama prezentată în figura 3.54 este formată din două diagrame cu solubilitate limitată în stare solidă, a căror interpretare s-a clarificat în cele de mai sus. Soluţia solidă γ apare prin dizolvarea componentului A sau B în compusul chimic A_mB_n, această soluţie solidă avînd două limite de saturaţie: în punctul F va fi γ_F, saturată în componentul A, iar în punctul G apare soluţia solidă γ_G, saturată în B.

Linia lichidus este AE_1CE_2B, iar linia solidus ADE_1FCGE_2HB. Eutecticul E_1 este format din două soluţii solide saturate $E_1 = \alpha_D + \gamma_F$, iar eutecticul E_2 este compus, în exemplul de faţă, din soluţia saturată γ_G şi componentul B. Diagrama constituenţilor structurali prezintă două domenii monofazice pentru α şi γ nesaturat, în rest întîlnindu-se numai domenii bifazice.

Diagrame de acest tip au, de exemplu, sistemele Al—Fe, Al—Mg, Cu—Al etc.

3.2.3.9. **Diagrame cu transformări în stare solidă.** În diagramele de echilibru ale sistemelor care prezintă asemenea transformări, sub linia solidus vor exista curbe oblice, care marchează transformările în stare solidă, aliajele avînd puncte critice de transformare şi sub punctul solidus. Existenţa transformărilor în stare solidă permite îmbunătăţirea proprietăţilor aliajelor prin aplicarea tratamentelor termice, care să le schimbe structura.

Cauza transformărilor în stare solidă poate fi sau o solubilitate limitată şi variabilă cu temperatura, sau modificările alotropice ale componenţilor.

a — diagrame cu solubilitate limitată şi variabilă. Limita de solubilitate în stare solidă a componenţilor variază cu temperatura, ea micşorîndu-se cu scăderea temperaturii, ceea ce va cauza apariţia unei noi faze prin cristalizări secundare, în stare solidă.

Scanned with OKEN Scanner

În diagrama cu eutectic și cu solubilitate variabilă din figura 3.55, analizînd cristalizarea *aliajului I*, se constată solidificarea completă a aliajului sub formă de soluție solidă omogenă α; nu mai apare nici o altă transformare, deoarece ordonata aliajului rămînînd într-un domeniu monofazic, nu intersectează nici o linie de transformare în stare solidă.

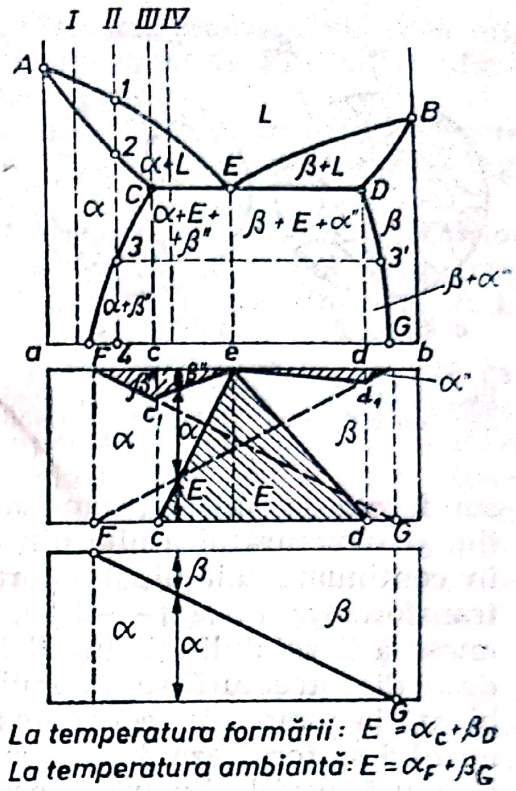


Fig. 3.55. Diagramă cu solubilitate limitată și variabilă în stare solidă

Aliajul II solidificîndu-se între punctele *1* și *2*, va consta dintr-o soluție solidă nesaturată α, care prin răcire nu va suferi la început nici o transformare. La temperatura punctului *3* însă, la intersectarea liniei *CF* de saturație a soluției solide α, cristalele omogene α devin saturate și începe să apară o nouă fază, ordonata aliajului trecînd dintr-un domeniu monofazic într-un domeniu bifazic. Soluția solidă α devenind suprasaturată, nu mai poate să mențină în soluție întreaga cantitate de *B*, diferența fiind nevoită să părăsească soluția. Compoziția acestei noi faze (care începe să se formeze) se află ducînd o izotermă prin punctul *3* pînă la prima linie plină a diagramei. Punctul *3'* arată că atomii componentului *B*, în exces în soluția α, nu vor părăsi singuri cristalele acestei soluții solide, ci împreună cu o oarecare cantitate de atomi *A*, sub forma unei alte soluții solide saturate β, foarte bogate în *B*. Aceste cristale β, formate în stare solidă, se vor numi β *secundare*, notate cu β″, pentru a le deosebi de faza β *primară*, care se formează din faza lichidă la aliajele hipereutectice.

Răcind aliajul *II* în continuare, sub punctul *3* se formează o cantitate din ce în ce mai mare de cristale β″, pe măsură ce solubilitatea lui *B* în *A* scade cu micșorarea temperaturii. La temperatura ambiantă, în punctul *4*, concentrația soluției α este determinată de poziția punctului *F*, iar cantitatea fazei β″, (care și-a schimbat între timp și ea compoziția, ajungînd în punctul *G*), pe baza legii pîrghiei este dată de relația:

$$\beta'' = 100\,\frac{F4}{FG}\,[\%].$$ Pentru α avem: $$\alpha = 100\,\frac{4G}{FG}\,[\%].$$

Cu ajutorul diagramei constituenților structurali se pot determina grafic pentru α și β″ aceleași cantități procentuale.

La temperatura ambiantă structura aliajului *II* se va compune dintr-o cantitate mare de cristale α și o cantitate mult mai mică de cristale β″, care formîndu-se prin părăsirea cristalelor mari de soluție α, vor fi situate la marginea acestora, alcătuind, de obicei, o rețea (fig. 3.56, *a*).

La cristalizarea și răcirea *aliajului III* totul se va întîmpla la fel, cu singura deosebire că după terminarea solidificării, se obține direct o

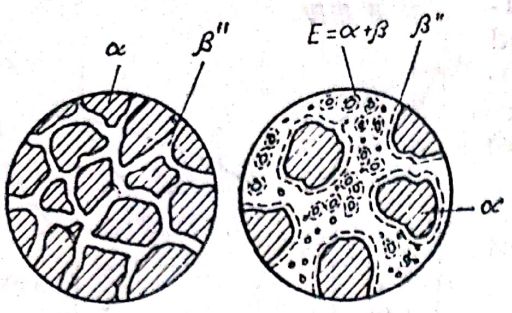


Fig. 3.56. Microstructura unor aliaje dintr-un sistem cu solubilitate variabilă.

soluție solidă α saturată, cu conținutul maxim posibil de *B*, corespunzător punctului *C* și astfel, la temperatura ambiantă, vom avea o cantitate mult mai mare de β″ (rețea de β″ mult mai groasă).

În cazul *aliajului* IV, în prima etapă a solidificării se formează cristale α care la atingerea temperaturii punctului eutectic vor avea o compoziție corespunzătoare punctului de saturație *C*. Aici, la temperatură constantă, lichidul care a ajuns între timp la compoziția punctului *E*, se va solidifica sub formă de eutectic, compus din soluțiile saturate α_C și β_D. Astfel se obține o structură alcătuită din cristale libere de α_C și din eutectic. Răcind în continuare aliajul, deși ordonata *IV* nu intersectează nici o linie de transformare în stare solidă, vor avea loc totuși transformări în urma micșorării solubilității lui *B* în α, prin care compoziția cristalelor libere de α din structură se va schimba treptat, ajungînd la temperatura ambiantă la compoziția corespunzătoare punctului *F*. În timpul acestei transformări se formează β″, la temperatura ambiantă structura aliajului fiind compusă, astfel, din trei constituenți structurali: cristale de soluție solidă saturată α_F, zona de β secundar în jurul cristalelor α și eutectic (fig. 3.56, *b*).

Referitor la eutecticul acestor sisteme trebuie să facem o precizare. La temperatura formării, eutecticul este alcătuit din cristale de soluție saturată α_C și β_D, așa cum ne arată izoterma dusă prin punctul *E*, care se termină în punctele *C* și *D*. În timpul răcirii în continuare a aliajelor, și în interiorul eutecticului vor avea loc transformările sus menționate, concentrația fazei α variind după linia *CF*, iar a fazei β după linia *DG*. La temperatura ambiantă eutecticul va fi compus în final din $\alpha_F + \beta_G$.

La aliajele hipereutectice totul se va întîmpla la fel, numai că aici va deveni saturată faza β, din care se va forma apoi α secundar.

Pentru construirea diagramei constituenților structurali, în primul rînd vom duce dreptele care să delimiteze triunghiul eutecticului, știind că domeniul de existență al eutecticului în diagrama analizată este limitat de punctele *C* și *D*. Pentru a delimita domeniul fazei β″, se trasează linia întreruptă *FG* (împrumutată din diagrama fazelor), care se trasează apoi plină pînă în punctul de intersecție c_1 cu ordonata *C*, după care se unesc cu o altă linie plină punctele c_1 și *e*. Este normal să scadă cantitatea fazei β″ începînd din punctul *c* spre *e*, deoarece scade treptat pînă la zero și cantitatea cristalelor de α liber, din care se formează, prin cristalizarea secundară analizată, faza β″. În punctul *e* deci va ajunge la zero atît faza α, cît și β″, cantitatea eutecticului crescînd aici la 100%. Triunghiul domeniului α″ se va construi după aceeași metodă.

Cantitatea maxim posibilă a fazei β″ apare la aliajul *III*, care trece prin punctul *C* și aceasta poate fi determinată din diagrama constituenților structurali, sau calculată cu ajutorul legii pîrghiei aplicate în punctul *c*, după cum urmează:

$$\beta''_{max} = 100\,\frac{Fc}{FG}\,[\%],$$

Scanned with OKEN Scanner

Diagrama fazelor se construiește ușor, prezentînd numai două domenii, α și β, dreapta de separare fiind trasată între punctele F și G, în afara cărora avem zone monofazice de α sau β (nesaturate).

În practică pot fi întîlnite diagrame de acest tip la un număr foarte mare de sisteme, cum ar fi, de exemplu, sistemele binare de Cu—Ag, Pb—Sn, Al—Cu și altele.

b — diagrame cu transformări în stare solidă datorită modificărilor alotropice ale componenților. Dacă unul, sau ambii componenți au mai multe stări alotropice, aliajele sistemului vor avea transformări și în stare solidă.

Dintre diagramele de diferite tipuri, care se încadrează în această categorie, în figura 3.57 este prezentată o *diagramă cu formare de eutectoid*. Aici fazele A_β și B_β, stabile la temperaturi mai mari, se dizolvă reciproc în orice proporții, avînd deci o solubilitate totală. Spre deosebire de aceasta, A_α și B_α ale componenților, care sînt stabile la temperaturi mai scăzute, prezintă o insolubilitate totală. Prin urmare soluția solidă γ, care se formează inițial la solidificarea oricărui aliaj a sistemului, ulterior, la temperaturi mai scăzute, se va descompune printr-o transformare în stare solidă.

Urmărind, ca exemplu, solidificarea și răcirea *aliajului I*, se poate constata că între punctele *1* și *2* va avea loc solidificarea aliajului sub formă de cristale de soluție solidă γ. La o răcire ulterioară, nu se va întîmpla nimic deosebit pînă la temperatura punctului *3* de intersecție cu linia *CE*, cînd începe să cristalizeze din soluția solidă γ, faza nouă A_α. Prin separarea acestei faze de 100% *A*, soluția solidă γ va deveni din ce în ce mai bogată în *B*, coborînd pe linia *CE* spre punctul *E*. Cînd în punctul *5* se atinge temperatura punctului *E*, avem o oarecare cantitate de cristale A_α, restul fiind soluția solidă γ corespunzătoare punctului *E*, care se va transforma, la temperatură constantă, într-un amestec fin de două faze. Acest nou constituent structural, format din descompunerea la temperatură constantă a soluției solide γ_E, se numește *eutectoid*, pentru a-l putea distinge de eutectic, care se formează într-un mod similar, dar dintr-o soluție lichidă.

Eutectoidul este deci un constituent structural eterogen, un amestec mecanic fin de două faze. Deoarece se formează, în general, la tempe-

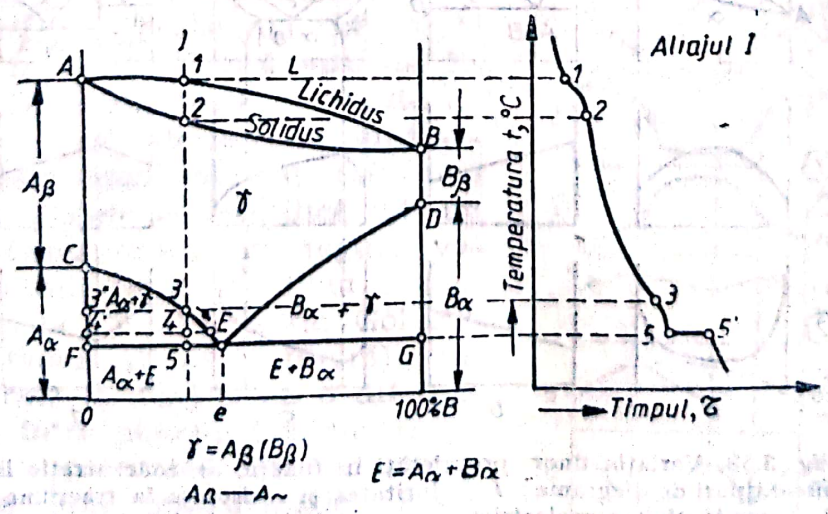


Fig. 3.57. Diagramă cu transformări în stare solidă datorită modificărilor alotropice ale componenților.

raturi mai scăzute, unde difuziunea și viteza de creștere a cristalelor este mai redusă, are o structură mai fină în comparație cu eutecticul. Eutectoidul, ca și eutecticul, poate avea un aspect lamelar sau globular, cum s-a arătat în figura 3.46, *a* și *b*.

În cazul sistemului analizat mai sus, eutectoidul este format din $A_\alpha + B_\alpha$, deoarece izoterma dusă prin punctul E se termină în punctele F și G de pe ordonatele componenților, situate sub punctele de transformare C și D, unde stările alotropice β trec la răcire în α pentru componenții sistemului. Diagrama de echilibru în ansamblu poate fi considerată ca o combinație între două diagrame cunoscute, a sistemului cu solubilitate totală și a sistemului cu insolubilitate totală, așezate una sub cealaltă.

3.2.3.10. Legătura între proprietățile aliajelor și diagramele de echilibru. Proprietățile aliajelor depind în mare măsură de structura lor, deci de natura și proporția fazelor și constituenților structurali prezenți în structură. Astfel, diagramele de echilibru pot oferi un ajutor prețios în determinarea legilor variației proprietăților fizice, mecanice, tehnologice și chimice în funcție de compoziția variabilă a aliajelor aparținătoare unui sistem dat.

În figura 3.58 este dată variația unor proprietăți în funcție de compoziție, pentru cele mai importante tipuri elementare de diagrame de echilibru. Dacă urmărim, de exemplu, variația durității aliajelor, se poate constata că aliajele au o duritate în general mai mare decît componenții puri. La sistemele cu solubilitate totală, duritatea variază după o curbă continuă, prezentînd un maxim la o concentrație determinată. La sistemele cu insolubilitate totală în stare solidă, variația durității este aproape liniară. În zonele monofazice ale diagramelor cu solubilitate limitată, duritatea crește după anumite curbe, iar la zona bifazică (și cu eutectic), duritatea variază aproape liniar. La sistemele cu compuși chimici intermetalici, variațiile aproape liniare ale durității prezintă un maxim în dreptul compusului chimic A_mB_n (v. seria *1* de curbe din fig. 3.58).

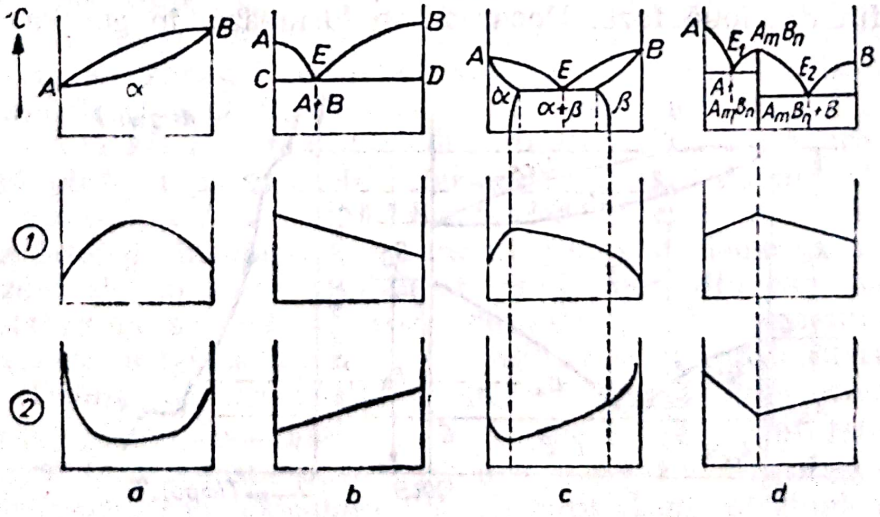


Fig. 3.58. Variația unor proprietăți în funcție de concentrație la unele tipuri de diagrame: *1* — duritatea și rezistența la tracțiune; *2* — conductivitatea electrică, conductivitatea termică și tensiunea termoelectromotoare.

Scanned with OKEN Scanner

Conductivitatea electrică este maximă la metalele pure, devenind mai mică în cazul aliajelor sau în cazul prezenței impurităților. Ea se micșorează foarte pronunțat în special atunci cînd se formează soluții solide (v. seria *2* de curbe din fig. 3.58).

Conductivitatea termică și tensiunea termoelectromotoare variază după aceleași reguli ca și conductivitatea electrică, curbele de variație respective fiind asemănătoare.

Densitatea aliajelor ce formează soluții solide, variază liniar. La sistemele cu insolubilitate, densitatea prezintă o variație liniară cu compoziția. Dacă în sistem apar compuși chimici, curba de variație a densității are un punct de inflexiune în dreptul compusului chimic.

Referitor la variația proprietăților aliajelor în funcție de compoziția acestora, în general, se poate spune că la amestecuri de faze apare o variație aproape liniară, la soluții solide (domenii monofazice), proprietățile variază după niște curbe, iar la formarea unui compus chimic, avem un maxim sau un minim al proprietăților fizice și mecanice.

Proprietățile tehnologice, de prelucrare, ale aliajelor depind și ele în mare măsură de compoziția și structura aliajelor, deci există o corelație între aceste proprietăți și diagramele de echilibru. În multe sisteme, aliajele pot fi împărțite în aliaje deformabile plastic (forjabile, laminabile etc.) și în aliaje de turnătorie, limita între aceste două grupe de aliaje fiind zona de saturare a soluției solide (fig. 3.59).

Curbele de variație a unor proprietăți tehnologice, prezentate în figură pentru un sistem cu solubilitate limitată, arată, în general, că aliajele monofazice sînt ușor de prelucrat prin deformare plastică, iar aliajele în componența cărora intră și un eutectic, se caracterizează printr-o turnabilitate bună (fluiditate ridicată, interval mic de solidificare, temperatură mai mică de topire, tendință mai mică de segregație etc.).

La aliajele monofazice, plasticitatea la cald este ridicată, iar rezistența la cald este scăzută, ceea ce favorizează prelucrarea lor prin deformare plastică la cald. La aliajele bifazice, rezistența ridicată la temperaturi înalte împiedică apariția fisurilor în urma tensiunilor provocate de contracția piesei turnate imediat după solidificare. Fluiditatea este cu atît mai bună, cu cît aliajele se solidifică într-un interval de temperatură mai îngust, valorile maxime ale fluidității fiind la metalele pure și la aliajul eutectic. Golurile de turnare (volumul de retasură) sînt mai concentrate la aliajele cu o diferență mai mică între punctul lichidus și solidus, deci compactitatea pieselor turnate va fi mai bună pentru aliajele apropiate de compoziția eutectică, unde și fluiditatea are valorile cele mai mari. Totuși, o cantitate prea mare de eutectic

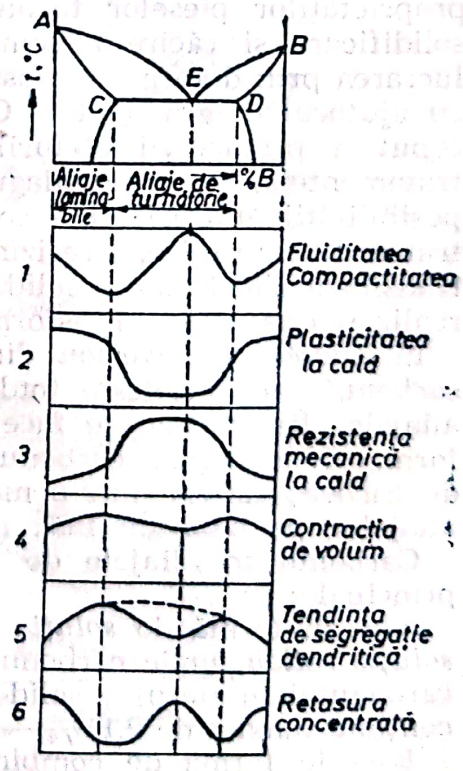


Fig. 3.59. Variația unor proprietăți tehnologice în funcție de concentrație.

nu este de dorit, deoarece reduce proprietățile mecanice, eutecticul avînd, în general, o fragilitate ridicată.

Deoarece în cele mai multe cazuri structura reală a aliajelor se deosebește mai mult sau mai puțin de structura de echilibru, delimitarea aliajelor laminabile de cele de turnătorie, nu poate fi făcută rigid. Aliajele cu soluții solide apropiate de saturație pot fi și deformate plastic la cald și, totodată, pot fi utilizate și pentru turnarea pieselor de mașini.

3.2.4. Aliajele fier-carbon

3.2.4.1. **Diagrama fier-carbon.** Fierul industrial sau fierul tehnic, nu este chimic pur. Oțelurile și fontele sînt aliaje complexe, care, chiar și în cazul cînd se consideră nealiate, mai conțin în urma procesului de elaborare carbon, mangan, siliciu, fosfor, sulf, precum și alte impurități, în cantitate mai mică însă. Reprezentarea acestui sistem polinar, pe bază de fier, fiind imposibilă, precum și faptul că elementele însoțitoare ale fierului sînt prezente în cantități relativ reduse, fac ca în practică la studiul oțelurilor și fontelor, de cele mai multe ori, să se utilizeze diagrama binară Fe—C.

Cunoscînd faptul că aliajele fier-carbon sînt cele mai răspîndite în tehnica modernă, ele reprezentînd circa 90% din cantitatea totală de metale și aliaje folosite pe scară mondială în industrie, este ușor de apreciat importanța diagramei Fe—C în diversele domenii ale elaborării, prelucrării și utilizării acestor aliaje. Astfel, pentru siderurgie și pentru turnătoriile de piese de mașini, diagrama de echilibru Fe—C precizează temperaturile de topire ale aliajelor, temperaturile de supraîncălzire și de turnare ale diferitelor fonte și oțeluri, structurile primare și secundare ale pieselor turnate, posibilitățile de îmbunătățire ale structurii și proprietăților pieselor turnate prin modificarea condițiilor de turnare, solidificare și răcire a semifabricatelor turnate și altele. Pentru prelucrarea prin deformare plastică la cald (laminare, forjare, matrițare etc.), cu ajutorul diagramei Fe—C se pot stabili temperaturile optime de început a prelucrării oțelurilor de diferite compoziții. Pentru practica tratamentelor termice, diagrama constituie baza teoretică la stabilirea posibilității aplicării și a condițiilor de realizare a diferitelor tipuri de tratamente termice, precizînd punctele critice ale diferitelor aliaje, transformările în stare solidă, temperaturile de încălzire necesare pentru realizarea anumitor transformări dorite și altele.

În *aliajele fier-carbon* dintre toate elementele *rolul principal îl are carbonul* care însoțește totdeauna aliajele fierului. Chiar și clasificarea aliajelor fier-carbon se face pe baza conținutului de carbon și pe baza formei de apariție a carbonului în masa fierului. În funcție de conținutul de carbon, variază într-o măsură importantă aproape toate proprietățile aliajelor pe bază de fier, așa cum se va analiza în cele ce urmează.

Carbonul în aliajele de fier poate să fie prezent sub patru forme principale:

a — în formă de *soluție lichidă* peste linia lichidus *sau* în formă de *soluție solidă*, unde carbonul este dizolvat în masa de fier. Solubilitatea carbonului în fierul γ solid crește cu temperatura, putînd ajunge la un conținut maxim de 2,11%;

b — în formă de combinație chimică Fe_3C, această *carbură de fier* purtînd denumirea de *cementită* și avînd un conținut de carbon de 6,67%;

Scanned with OKEN Scanner

c — în stare liberă necristalizată, sub formă de *carbon amorf;*
d — în stare liberă cristalizată, sub formă de *grafit,* care în cele mai multe cazuri se formează prin descompunerea cementitei.

Sistemul fier-carbon, în stare lichidă, prezintă o solubilitate nelimitată, iar în stare solidă una limitată și variabilă. Diagrama de echilibru Fe—C este destul de complexă, fiind compusă din trei diagrame binare cunoscute, una cu eutectic, una cu eutectoid și una cu transformare peritectică. Aceasta din urmă, care apare în colțul stîng superior al diagramei Fe—C la temperaturi foarte înalte, neavînd o importanță practică, de multe ori poate fi neglijată. Astfel, nu ne vom ocupa cu această transformare peritectică din diagrama fier-carbon, considerînd că linia lichidus și solidus trec direct spre punctul *A* de topire al fierului pur.

Diagrama Fe—C completă cuprinde toate aliajele între 0 și 100% carbon, dar cele cu conținut mai ridicat de carbon fiind sfărîmicioase, cu proprietăți necorespunzătoare, în practică interesează numai porțiunea diagramei pînă la 6,67% C, deci pînă la compusul chimic Fe_3C.

Diagrama sistemului stabil fier-grafit, care corespunde la o răcire deosebit de lentă, nu este practic utilizată la oțeluri. Ea este reprezentată prin liniile întrerupte (și ușor deplasate) din diagrama fier-cementită din figura 3.60. Acest sistem stabil Fe—grafit, presupune o descompunere integrală a cementitei în grafit și ferită și diagrama lui este utilizată la explicarea problemei grafitizării la fontele de turnătorie.

Diagrama sistemului metastabil fier-cementită se extinde pe domeniul de concentrație de la 0 la 100% Fe_3C (6,67% C). Această diagramă

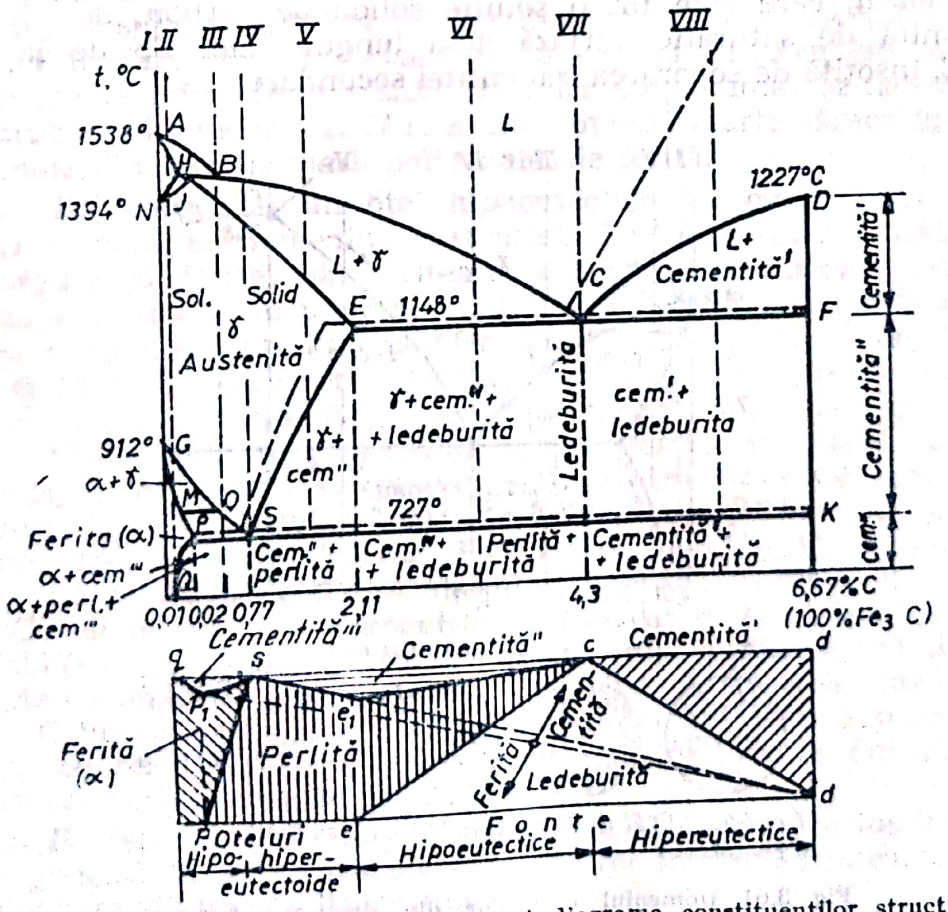


Fig. 3.60. Diagrama sistemului fier-carbon și diagrama constituenților structurali.

reflectă situația la o răcire mai puțin lentă, unde cementita nu are timp să se descompună. În acest sistem, prin urmare, carbonul nu se găsește liber sub formă de grafit, ci numai legat, sub forma compusului chimic Fe_3C.

Clasificarea aliajelor fier-carbon. În funcție de punctul *E* de saturație în carbon al austenitei la 2,11% C, aliajele fier-carbon se împart în *oțeluri*, care au un conținut de carbon între 0 și 2,11% și în *fonte*, care au un conținut de carbon între 2,11 și 6,67%.

În funcție de concentrațiile față de eutectoid și eutectic, oțelurile se împart în hipoeutectoide (între 0 și 0,77% C) și hipereutectoide (între 0,77 și 2,11% C), iar fontele se clasifică în hipoeutectice (între 2,11 și 4,3% C) și hipereutectice (între 4,3 și 6,67% C).

Eutectoidul diagramei Fe—C, cu 0,77% C, se numește *perlită*, iar eutecticul, cu 4,3% C, se numește *ledeburită*.

Linia lichidus este *ABCD* (fig. 3.60), iar linia solidus este *AHJECFD*. Restul liniilor, amplasate sub linia solidus, marchează transformări în stare solidă. Linia *PSK*, de transformare eutectoidă, se notează cu A_1, linia *MOSK*, de transformare magnetică, se notează cu A_2, linia *GOSK* este notată cu A_3, iar linia *SE*, de saturație a austenitei în carbon, se notează cu A_{cem} (v. și fig. 3.61, în care este reprezentată la o scară mai mare o parte din diagrama Fe—C, cu transformările în stare solidă a oțelurilor).

În diagrama Fe—C întîlnim trei constituenți structurali omogeni:

- *ferita*, care este o soluție solidă de carbon în Fe_α, a cărei limită de saturație se micșorează cu scăderea temperaturii de-a lungul liniei *PQ* de la 0,02 la 0,01% C, însoțită de separarea cementitei terțiare;
- *austenita*, care este tot o soluție solidă de carbon, dar în Fe_γ, a cărei limită de saturație variază de-a lungul liniei *ES* de la 2,11 la 0,77% C, însoțită de separarea cementitei secundare;

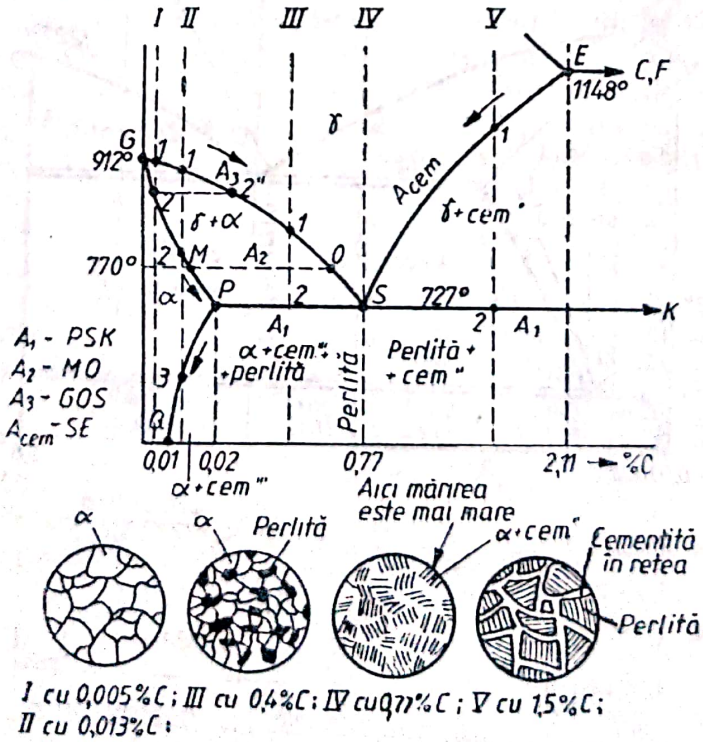


Fig. 3.61. Domeniul oțelurilor din diagrama fier-carbon.

Scanned with OKEN Scanner

• *cementita*, care este o carbură de fier, Fe_3C, cu 6,67% C, care poartă denumirea de: *cementită primară* dacă se cristalizează din fază lichidă, *cementită secundară* dacă se separă din soluția solidă de austenită saturată și *cementită terțiară* dacă se separă din soluția solidă de ferită saturată.

În afara acestora, în diagrama Fe—C mai întîlnim și cei doi constituenți structurali eterogeni: *ledeburita*, cu 4,3% C, care este eutecticul diagramei; *perlita* cu 0,77% C, care este eutectoidul diagramei.

Interpretarea diagramei Fe—C în domeniul oțelurilor. Folosind cele învățate la diagramele de echilibru binare simple, vom urmări cristalizarea și răcirea unei serii de aliaje reprezentative, alese în diferitele zone ale diagramei fier-carbon și notate cu *I ... VIII* în figura 3.60 și figura 3.61.

Aliajul I este un oțel foarte sărac în carbon (de exemplu cu 0,005% C), adică aproape fier pur, care începe să se solidifice cu ceva sub temperatura de 1538°C. Soluția solidă γ (austenita), formată la temperaturi foarte ridicate, nu suferă nici o transformare pînă la intersecția ordonatei aliajului cu linia *GOS* în punctul *1*, cînd începe separarea din austenită a soluției solide α (ferita). Transformarea în ferită se termină în punctul *2*. În continuare, soluția solidă omogenă de ferită nu mai suferă nici o altă transformare pînă la temperatura ambiantă, rămînînd tot timpul nesaturată.

Aliajul II se va solidifica la fel cu aliajul *I*, suferind aceleași transformări pînă în domeniul feritei. La intersecția ordonatei cu linia *PQ*, în punctul *3* soluția solidă α devine însă saturată și începe separarea cementitei terțiare. Practic separarea cementitei terțiare are loc într-o cantitate foarte mică, fiind vizibilă la microscop numai la măriri foarte mari. Structura aliajelor *I* și *II* și a altor oțeluri foarte sărace în carbon, este formată din cristale mari, poligonale, de ferită.

Aliajul III, care este un oțel hipoeutectoid cu circa 0,4% C, prin solidificare intră în domeniul austenitei. La intersectarea liniei *GOS* începe separarea feritei din austenită datorită transformării alotropice a fierului γ în fier α. În punctul *2*, de pe linia *PSK*, vom sosi, prin urmare, cu o oarecare cantitate de ferită saturată, de concentrația punctului *P* și cu o oarecare cantitate de austenită, de compoziția punctului perlitic *S*. Aici, la temperatură constantă (727°C), va avea loc transformarea austenitei rămase în perlită, în eutectoidul diagramei. În continuare, aliajul nu va mai suferi nici o transformare importantă pînă la temperatura ambiantă, avînd loc doar o ușoară schimbare a concentrației feritei de-a lungul liniei *PQ* și separarea unei cantități foarte mici de cementită terțiară. Structura aliajului *III* va fi formată din ferită și perlită. Cu cît oțelul hipoeutectoid are un conținut de carbon mai apropiat de 0,77%, cu atît în structură vom avea mai multă perlită și invers, în apropierea punctului *P* vom vedea în structură aproape numai ferită. La 0,4% C în componența structurii intră circa 50% ferită și 50% perlită, ceea ce rezultă fie din aplicarea legii pîrghiei, fie din diagrama constituenților structurali din figura 3.60.

Aliajul IV este un oțel eutectoid cu 0,77% C, la care austenita, ajungînd în punctul *S*, se va transforma integral în perlită, structura oțelului fiind formată numai din perlită.

Aliajul V este un oțel hipereutectoid cu 1,5% C. Din lichid cristalizează austenita, care la intersectarea liniei *ES* devine saturată în carbon

Scanned with OKEN Scanner

și începe cristalizarea secundară a cementitei. Prin separarea cementitei secundare, austenita devine din ce în ce mai săracă în carbon, concentrația ei variind după linia *ES*. Cînd ordonata aliajului intersectează linia *PSK* în punctul *2*, se termină separarea cementitei secundare, iar austenita ajunsă între timp la concentrația punctului *S*, se va transforma, la temperatură constantă, în perlită. Deoarece cementita secundară, separată din cristalele de austenită între punctele *1* și *2*, se va aduna la marginea cristalelor de austenită, formînd aici o *rețea de cementită*, ulterior, după ce cristalele de austenită se transformă în perlită, structura microscopică a acestor oțeluri va fi formată din perlită și *cementită în rețea*. Structurile aliajelor *I*...*V* sînt reprezentate schematic tot în figura 3.61.

Interpretarea diagramei Fe—C în domeniul fontelor. Fiind vorba de sistemul metastabil Fe—Fe_3C, fontele albe, cementitice, vor conține carbonul sub formă legată în cementită.

Aliajul VI este o fontă hipoeutectică cu circa 3,5% C. Prin răcirea acestei fonte topite, la intersecția ordonatei cu linia lichidus, începe formarea primelor cristale de austenită. La intersectarea liniei *ECF* (1148°C), se termină cristalizarea austenitei, care între timp, prin difuziune, a ajuns la saturație, la 2,11% C în punctul *E* și începe solidificarea lichidului *C* la temperatură constantă, sub formă de eutectic (ledeburită). În continuare, temperatura începe din nou să scadă, iar cristalele libere de austenită saturată își vor modifica continuu compoziția după linia *ES*, tinzînd spre punctul *S*, modificare însoțită de formarea continuă a cementitei secundare. Austenita din ledeburită urmează aceleași transformări, cementita secundară contopindu-se, însă în interiorul ledeburitei, cu cementita eutectică. La intersectarea liniei *PSK* are loc, la temperatură constantă, transformarea austenitei ajunse în punctul *S* în perlită. Astfel, la temperatura ambiantă, fonta hipoeutectică este formată din perlită, cementită secundară și ledeburită (v. fig. 3.62, *a*).

Aliajul VII avînd 4,3% C, este o fontă albă eutectică, care cristalizează la temperatură constantă, la 1148°C. Ledeburita formată la solidificare constă din austenită saturată *E* și cementită primară *F*. La temperatura de 727°C ledeburita se supune transformării perlitice, devenind un amestec mecanic de perlită și cementită primară. Aliajul VII este 100% ledeburită.

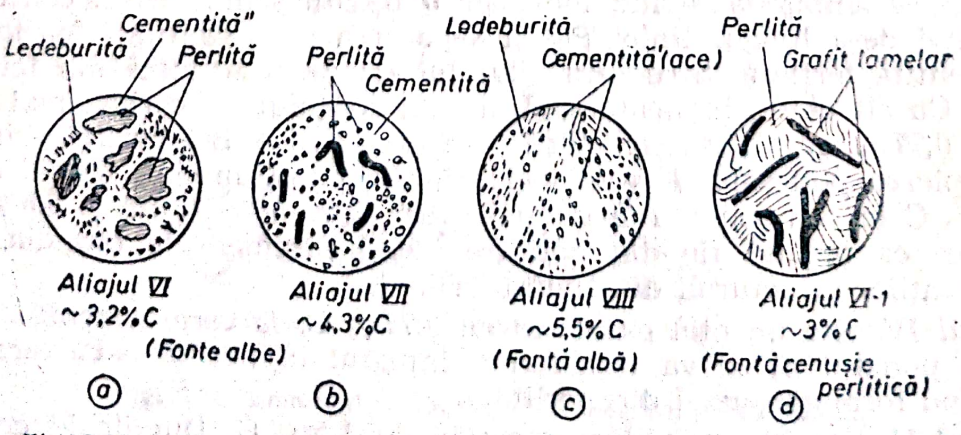


Fig. 3.62. Microstructura unor aliaje fier-carbon din domeniul fontelor.

Scanned with OKEN Scanner

Aliajul VIII este o fontă albă hipereutectică, avînd, de exemplu 5,8% C. La intersectarea liniei lichidus *CD*, începe cristalizarea cementitei primare. Compoziția fazei lichide variază după curba *DC*, ajungînd pînă la urmă la 4,3% C, unde, la temperatură constantă (la 1148°C), va avea loc cristalizarea ledeburitei. Structura acestor fonte este formată din cristale mari, dreptunghiulare, de cementită primară și din ledeburită. Continuînd răcirea, pînă la temperatura ambiantă, vor avea loc numai transformările cunoscute din cadrul ledeburitei.

Structurile aliajelor *VI ... VIII* sînt reprezentate schematic în figura 3.62.

Diagrama cantităților procentuale ale constituenților structurali în sistemul metastabil Fe—Fe_3C. Această diagramă, care arată cantitatea constituenților structurali la temperatura ambiantă, poate fi construită relativ ușor, aplicînd principiile stabilite la diagramele binare simple. Se va mai ține seama de faptul că aliajele cu 0% C, 0,77% C, 4,3% C și 6,67% C sînt formate dintr-un singur constituent structural, adică din 100% ferită, perlită, ledeburită, respectiv cementită. Între aceste aliaje cantitatea procentuală a constituenților structurali variază liniar.

Pentru construirea diagramei, se proiectează pe cîmpul acesteia punctele *Q, P, S, E, C* și *D* și se duc dreptele care să delimiteze triunghiurile eutecticului și a cementitei primare, știind că domeniul de existență al ledeburitei este limitat de punctele *E* și *D* (respectiv *F*). Pentru a delimita domeniul cementitei secundare, se trasează diagonala întreruptă *sd*, începînd de la concentrația de 0,77% C, de unde apare această cementită, pînă la 6,67% C. Diagonala se trasează apoi plin pînă la punctul de intersecție e_1 cu ordonata *E*, după care se unesc cu o altă linie punctele de intersecție e_1 și *c*. Cantitatea maximă a cementitei secundare apare la aliajul cu 2,11%, după care ea descrește pînă la 4,3% C, deoarece pînă aici și cantitatea de austenită liberă scade treptat, ajungînd la zero, împreună cu cantitatea cementitei secundare. Tot aici, la 4,3% C, cantitatea ledeburitei va ajunge la 100%.

Triunghiul foarte mic, corespunzător domeniului cementitei terțiare, se construiește după aceleași principii, trasînd diagonala întreruptă *qd*, începînd de la 0,01 pînă la 6,67% C și apoi unind punctul p_1 (de intersecție a diagonalei și a ordonatei *P* de la 0,02% C) cu punctul *s* de pe prelungirea ordonatei cu 0,77% C.

Ultima linie care desparte domeniul feritei de domeniul perlitei, se construiește unind cu o dreaptă punctele *p* și *s* de la 0,02, respectiv 0,77% C.

3.2.4.2. **Proprietățile constituenților de echilibru din aliajele Fe—C.** Constituenții structurali din diagrama Fe—C pot fi omogeni sau neomogeni și au proprietăți foarte diferite.

Ferita. Este o soluție solidă de fier α cu o foarte mică cantitate de carbon (0,02% C la 727°C, respectiv de 0,01% C la temperatura ambiantă). Practic se poate considera că fierul α nu dizolvă carbonul, deci ferita poate fi considerată ca fier aproape pur.

La microscop ferita apare sub formă de cristalite omogene mari, poliedrice, în general echiaxiale, de culoare deschisă. În componența perlitei, ferita intră, de obicei, sub formă de lamele.

Ferita pînă la temperatura de 770°C este magnetică. Poziția punctului Curie (notată cu A_2), la care dispare magnetismul aliajelor fier-carbon,

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.3.

Proprietățile mai importante ale fierului pur și ale constituenților structurali ai aliajelor Fe—C

Nr. crt.	Proprietatea	Simbol	Unitatea de măsură	Fier pur	Ferită	Perlită			Austenită	Cementită
						foarte fină	normală	grosolană		
1	Densitatea	ρ	g/cm³	7,876	7,87		7,78		—	7,62
2	Duritatea	HB		70	80	250	205	185	200	>700
3	Rezistența la tracțiune	R_m	N/mm²	250	300	1100	850	550	—	—
4	Limita de curgere	$R_{p0,2}$	N/mm²	120	150	—	380	—	—	—
5	Alungirea la rupere	A	%	50	40	10	14	25	50	0
6	Gîtuirea la rupere	Z	%	75	70	—	15	—	—	0
7	Reziliența	KCU	J/cm²	250	200	—	30..60	—	—	—

în diagrama Fe—C corespunde liniei *MOSK*, deci la conținuturile de carbon mai mari de 0,77% C transformarea magnetică se confundă cu transformarea A_1.

Masa specifică a fierului pur, respectiv a feritei, este de 7,87 g/cm³ și scade în oțeluri cu creșterea conținutului de carbon, ajungînd în oțelurile carbon de scule, cu conținut ridicat de carbon, chiar sub 7,81 g/cm³.

Proprietățile mai importante ale fierului pur, ale feritei și ale altor constituenți structurali din diagrama Fe—C, sînt trecute în tabelul 3.3. Din aceste date se poate constata că ferita este foarte moale și deosebit de plastică, avînd totodată o rezistență mecanică și o duritate scăzută. Reziliența feritei este deosebit de ridicată, ceea ce este în perfectă concordanță cu ansamblul de proprietăți amintit. Prin urmare, oțelurile moi, cu un conținut de carbon scăzut, deci cu foarte multă ferită în structură, pot fi ușor prelucrate prin deformare plastică, chiar la temperatura ambiantă.

Austenita. Este o soluție solidă interstițială de carbon în fier γ, conținînd în stare saturată 2,11% C la temperatura de 1148°C. Deoarece fierul γ cristalizează în sistem cubic cu fețe centrate, atomul de carbon poate intra în centrul celulei elementare cubice. La saturație se completează aproximativ una din 2,5 celule, în mod statistic, existînd fluctuații de concentrație în austenită.

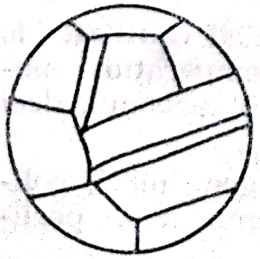


Fig. 3.63. Microstructura austenitei.

La microscop austenita apare sub forma unor cristale omogene mari, paralelipipedice, de culoare galbenă deschisă, care însă merge pînă la roșu violet în funcție de atacul chimic aplicat probelor metalografice (v. fig. 3.63.).

Austenita este însă stabilă numai la temperaturi ridicate, peste linia *PSK*, deci peste 727°C. Austenita își menține stabilitatea pînă la temperatura

Scanned with OKEN Scanner

ambiantă numai dacă este aliată cu anumite elemente ca Ni, Mn, Co etc., care deplasează în jos liniile de transformare din diagramă. În asemenea cazuri, austenita poate fi studiată la microscop în mod obișnuit, și nu trebuie să se apeleze la microscoape metalografice speciale, cu încălzirea în vid sau argon a probelor, la care este posibilă analiza metalografică și la temperaturi mai mari de 727°C.

Austenita este plastică, ușor deformabilă, din care cauză oțelurile pot fi prelucrate prin deformare plastică la cald foarte avantajos, dacă semifabricatele vor fi încălzite în prealabil în domeniul austenitic.

Austenita este paramagnetică. Duritatea austenitei crește cu ridicarea conținutului de carbon și scade cu mărirea temperaturii de încălzire în vederea prelucrării prin laminare, forjare, matrițare etc.

Cementita. Este un compus chimic, o carbură de fier, cu formula Fe_3C, cu un conținut de 6,67% C. Structura cristalină a cementitei este complicată, cu o rețea ortorombică. Se topește la circa 1277°C, avînd punctul Curie la 210°C, unde își pierde proprietățile magnetice.

Cementita are o duritate extrem de ridicată, mai mare de 700 HB, și o plasticitate practic nulă. Este deosebit de fragilă. Este un compus chimic cu o stabilitate relativ scăzută, în anumite condiții descompunîndu-se în carbon liber, sub formă de grafit și în austenită (la temperaturi peste 727°C) sau în ferită (dacă ne aflăm sub linia *PSK*), după reacția: $Fe_3C \rightarrow 3Fe + C$ *(proces de grafitizare).*

Masa specifică a cementitei este relativ mică, de numai 7,62 g/cm³. La microscop apare de culoare deschisă, albă-cenușie, dacă atacul chimic s-a făcut în modul cel mai obișnuit, cu nital. Pentru a deosebi clar cementita de ferită, ambele avînd o culoare albă, proba metalografică poate fi atacată la cald cu picrat de sodiu alcalin, cînd cementita se colorează puternic, apărînd într-o culoare închisă, în timp ce ferita și ceilalți constituenți structurali rămîn necolorați.

Perlita. Este un constituent structural eterogen, un eutectoid conținînd 0,77% C, compus din amestecul mecanic al feritei și cementitei rezultate din descompunerea austenitei la 727°C. Raportul cantitativ al acestor faze se poate calcula cu ajutorul legii pîrghiei aplicate în punctul *s:*

$$\text{cementita} = 100\,\frac{0{,}77 - 0{,}01}{6{,}67 - 0{,}01} = 11{,}6\% \text{ și ferita} = 100\,\frac{6{,}67 - 0{,}77}{6{,}67 - 0{,}01} = 88{,}4\%.$$

Structura perlitei este, de obicei, lamelară, sau uneori globulară. La perlita globulară, care se poate obține de exemplu prin recoacerea de înmuiere de globulizare, duritatea și rezistența mecanică sînt mai mici, iar alungirea, gîtuirea și reziliența sînt mai mari, ceea ce permite o prelucrare prin așchiere mai ușoară.

Proprietățile perlitei sînt intermediare între cele ale feritei și ale cementitei, fiind mai apropiate de proprietățile feritei, care este prezentă într-o cantitate mult mai mare. Perlita este deci mai dură și mai rezistentă decît ferita, fiind totodată mai puțin plastică, dar fără a fi fragilă, așa cum rezultă și din datele tabelului 3.3. Masa specifică este relativ mică, deoarece cementita o reduce pînă la 7,78 g/cm³. Conținînd o mare cantitate de ferită, perlita este feromagnetică, dar în comparație cu ferita, inducția magnetică, permeabilitatea și saturația magnetică, sînt mai mici, iar forța coercitivă este mai mare.

Examinînd cu ochiul liber sau cu lupa, perlita are un aspect perlat, datorită fenomenului de interferență a luminii pe lamelele foarte fine

Scanned with OKEN Scanner

alternative ale fazelor din componența ei. În funcție de viteza de răcire, lamelele sînt mai mult sau mai puțin fine. La o viteză de răcire suficient de mare, lamelele vor fi atît de fine și de apropiate între ele, încît nu mai pot fi distinse una de alta nici la cele mai mari măriri ale microscoapelor metalografice obișnuite, ajungînd la așa-numita *perlită sorbitică*.

Ledeburita. Este eutecticul diagramei fier-carbon, un constituent structural eterogen, specific fontelor albe. La temperatura ambiantă este un amestec mecanic de perlită și de cementită, cantitatea procentuală a acestora rezultînd din aplicarea legii pîrghiei în punctul *c*:

$$\text{cementita liberă} = 100\,\frac{4{,}3 - 0{,}77}{6{,}67 - 0{,}77} = 60\% \text{ și perlita} = 100 - 60 = 40\%.$$

Ledeburita la temperaturi între 727°C și 1148°C este compusă din austenită și cementită. Conținutul în carbon al ledeburitei este de 4,3% C.

Deoarece ledeburita conține circa 60% cementită liberă, este foarte dură și fragilă, lipsită de tenacitate. Este întîlnită, mai ales, în fontele albe, care vor fi de asemenea foarte dure, fragile și fără tenacitate, deci necorespunzătoare pentru a fabrica din ele piese de mașini turnate.

3.2.4.3. **Oțelurile carbon** sînt cele mai utilizate materiale în construcția de mașini.

Oțelurile reprezintă materialul metalic cu cea mai mare răspîndire în industrie. Aceasta se explică prin gama largă de proprietăți mecanice ce pot fi obținute, la concentrații diferite în carbon, pe baza transformărilor în stare solidă a fierului, prin aliere, tratamente termice, termochimice, mecanice și termomecanice; de asemenea, se obțin astfel caracteristici fizico-chimice (magnetice, electrice, de rezistență la coroziune etc.), care permit folosirea oțelurilor în cele mai variate domenii industriale. Oțelurile se clasifică după compoziția lor chimică în: oțeluri carbon și oțeluri aliate.

Din întreaga cantitate de oțeluri produse, aproape 90% reprezintă oțelurile carbon (nealiate) și numai circa 10% sînt oțeluri aliate. Este drept că acest raport se schimbă mereu, ponderea oțelurilar aliate crescînd din ce în ce mai mult.

Oțelurile carbon obișnuite, de cele mai multe ori, sînt utilizate fără să fie tratate termic. Răcirea lentă după terminarea laminării este ultima operație care determină formarea structurii, deci și proprietățile oțelului. Oțelurile carbon de calitate și oțelurile carbon de scule, după prelucrarea lor, se tratează termic pentru a realiza la produsele fabricate proprietățile optime pe care le poate oferi marca respectivă de oțel.

Oțelurile carbon sînt oțeluri care nu conțin în afară de fier și carbon alte elemente introduse în mod voit. Oțelurile carbon, avînd un preț relativ scăzut, constituie materialul de bază în construcția de mașini. Au o serie de proprietăți favorabile ca: tenacitate bună, rezistență mecanică ridicată, pot fi ușor deformate plastic, au o elasticitate bună, la un conținut redus de carbon pot fi ușor sudate etc. Ca însușiri dezavantajoase amintim greutatea lor specifică mare, rezistența slabă la coroziune, rezistența slabă împotriva oxidării la temperaturi ridicate și altele. Aceste proprietăți sînt influențate, în primul rînd, de conținutul lor de carbon, deci de variația cantitativă a constituienților structurali. În figura 3.64 se prezintă variația proprietăților oțelurilor carbon în

Scanned with OKEN Scanner

funcție de conținutul de carbon. Datele corespund stării normalizate, recoapte, cu răcire lentă în aer.

Se observă că oțelurile carbon cele mai rezistente sînt cele eutectoide, cu foarte multă perlită în structură, rezistența lor putînd fi încă mult mărită prin tratamente termice sau mecanice. Prin deformare plastică la rece, de exemplu prin trefilare, oțelul se ecruisează, rezistența putînd să ajungă la valori chiar foarte ridicate, pînă la 3000 N/mm², mult mai mari decît cele realizabile în mod curent la oțelurile aliate. Totodată, prin mărirea conținutului de carbon, pe lîngă modificarea caracteristicilor mecanice, se schimbă și restul proprietăților: greutatea specifică scade, conductivitatea electrică se micșorează, saturația și inducția magnetică scad, forța coercitivă crește, permeabilitatea magnetică se micșorează, turnabilitatea se îmbunătățește, forjabilitatea scade, sudabilitatea se înrăutățește accentuat, călibilitatea se îmbunătățește etc.

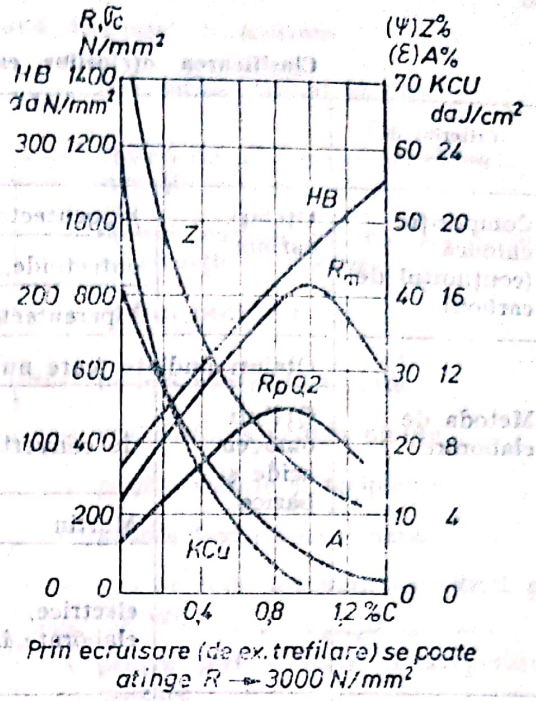


Fig. 3.64. Variația principalelor proprietăți ale oțelurilor carbon în funcție de conținutul de carbon.

De asemenea, și *elementele însoțitoare* obișnuite din oțeluri au o oarecare influență asupra proprietăților. Astfel, *siliciul* mărește rezistența la rupere și elasticitatea. *Manganul* mărește rezistența și duritatea oțelurilor și micșorează forjabilitatea. *Sulful* este un element dăunător, micșorează rezistența la rupere, alungirea, tenacitatea, forjabilitatea, mărind duritatea și cauzează o fragilitate la cald a oțelurilor. Un conținut mai ridicat de sulf este admis în oțelurile pentru automate. *Fosforul* este tot un element dăunător, mărește duritatea și face oțelul fragil la rece. Un conținut mai ridicat de fosfor se admite numai în oțelurile pentru automate și pentru piulițe, din cauza anumitor avantaje care apar la prelucrarea prin așchiere a acestor materiale. *Oxigenul* poate să rămînă în oțelurile carbon sub formă de FeO și MnO, care se separă sub formă de incluziuni nemetalice, avînd o influență dăunătoare asupra proprietăților. *Azotul*, fiind prezent sub formă de nitruri, face oțelul dur și fragil. Efectul dăunător al azotului poate fi micșorat prin adăugare de ferotitan în baia metalică, la elaborare. *Incluziunile* de gaze, de zgură și de alte materiale nemetalice, micșorează rezistența oțelurilor, iar la prelucrările mecanice prin deformare plastică, pot da naștere la ruperi și crăpături.

Oțelurile carbon se clasifică în funcție de conținutul de carbon în două grupe: *oțeluri de construcție* (0 ... 0,65% C) și *oțeluri de scule* (0,65 ... ... 1,5% C). La rîndul lor, oțelurile de construcție se împart în două categorii: *oțeluri pentru cementare* (0 ... 0,25% C) și *oțeluri pentru îmbunătățire* (0,25 ... 0,65% C).

O clasificare sinoptică a oțelurilor carbon, după modul lor de prelucrare și destinație, este prezentată în tabelul 3.4, 3.5 și figura 3.65, unde

Tabelul 3.4

Clasificarea oțelurilor carbon după diferite criterii

Criteriul de clasificare	Clasificarea			
Compoziția chimică (conținutul de carbon)	Oțeluri carbon	hipoeutectoide, cu 0 ... 0,77 %C		
		eutectoide, cu 0,77% C		
		hipereutectoide, cu 0,77 ... 2,11% C		
Metoda de elaborare	Oțeluri pudlate (care nu au ajuns în stare lichidă)			
	Oțeluri omogene, acide și bazice	de convertizor	Bessemer Thomas Cu insuflare de O_2(LD)	
		Martin		
		electrice, elaborate în:	cuptor cu arc	
			cuptor cu inducție	de joasă frecvență
				de înaltă frecvență
Gradul de dezoxidare și conținutul de siliciu	Oțeluri	necalmate	sub 0,02% Si	
		semicalmate	cu 0,1% Si	
		calmate	cu 0,2 ... 0,5% Si	
Tehnologia de prelucrare	Oțeluri prelucrate la cald		Turnate Forjate Matrițate Laminate	
	Oțeluri prelucrate la rece		Trefilate Laminate Prelucrate prin așchiere	
Domeniul de utilizare	Oțeluri de construcție cu 0...0,65%C	Cu destinație generală	Oțeluri carbon obișnuite Oțeluri carbon de calitate Oțeluri carbon superioare	
		Cu destinație precizată	v. tab. 3.5	
	Oțeluri de scule cu 0,65... ... 1,4% C	Cu destinație generală		
		Cu destinație precizată		

se arată și legătura între diagrama Fe—C, grupele de clasificare și mărcile cele mai importante de oțeluri carbon standardizate.

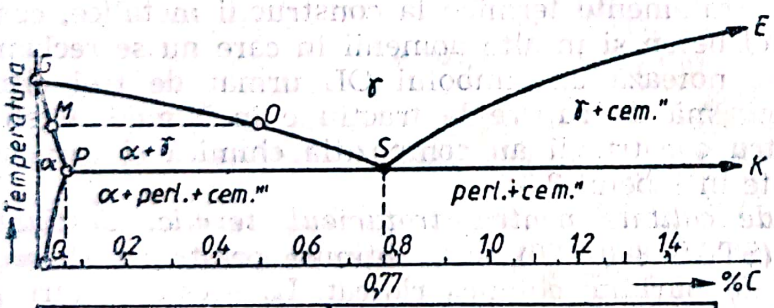
Oțelurile de construcție pentru cementare au o rezistență de rupere mică, o alungire și gîtuire mare, sînt foarte moi (80 ... 110 HB), sînt ușor forjabile, ușor sudabile, dar nu sînt călibile (înainte de călire trebuie să fie supuse tratamentului termochimic de cementare). Sînt utilizate în cantități foarte mari sub formă de profile laminate și table, folosite în construcțiile metalice (unde sudabilitatea este un criteriu decisiv), precum și sub formă de table, bare, sîrme etc., pentru fabricarea pieselor de mașini care nu sînt supuse la eforturi prea mari, dar trebuie să posede o tenacitate ridicată, cum ar fi de exemplu: nituri, șuruburi, piese obținute prin ambutisare, îndoire, iar în stare cementată pot

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.5

Clasificarea oţelurilor carbon după domeniul de utilizare

- **Oţeluri de construcţie**
  - turnate în piese
    - cu destinaţie generală
      - oţel carbon turnat în piese
    - cu destinaţie precizată
      - oţeluri pentru automate
      - oţel fosforos pentru piuliţe
      - pentru cazane şi recipiente
      - pentru ţevi de uz general
      - pentru ţevi destinate industriei petroliere
      - pentru ţevi utilizate la temperaturi ridicate
      - pentru arcuri
      - oţeluri beton
  - prelucrate prin deformare
    - cu destinaţie generală
      - oţeluri de uz general pentru construcţii
      - oţeluri carbon de calitate pentru construcţii de maşini
      - oţeluri calibrate
- **Oţeluri de scule**
  - cu destinaţie generală
    - oţeluri carbon pentru scule
  - cu destinaţie precizată
    - oţeluri pentru pile
    - oţeluri pentru scule destinate prelucrării materialelor nemetalice



Oţeluri de construcţie							Oţeluri de scule						
pt.cem.		pt.îmbunătăţire											
STAS 500-80							STAS 1700-80						
OL 32(30)	OL 34	OL 37	OL 42(44)	OL 50(52)	OL 60	OL 70	OSC 7	OSC 8		OSC 10	OSC 11	OSC 13	
STAS 880-80													
OLC 10	OLC 15	OLC 20	25	35	45	50	55	60					
OLC							0,65%C Semi-dure		0,85%C dure		1,15%C Extra dure		1,50%C
80-110 HB			110-160 HB				160-180		180-200		200-220 HB		

Fig. 3.65. Legătura între clasificarea oţelurilor carbon şi diagrama fier-carbon.

fi folosite la confecționarea diferitelor piese supuse frecării ca: bolțuri, axe etc.

Oțelurile de construcție pentru îmbunătățire au o rezistență de rupere destul de mare, 420 . . . 800 N/mm², o alungire bună, o reziliență destul de mare, o duritate mai ridicată, sînt forjabile, călibile, dar au o sudabilitate slabă. Se folosesc în construcția de mașini pentru fabricarea diferitelor piese supuse la solicitări mai mari, la solicitări dinamice, la solicitări variabile, cum ar fi de exemplu: arbori de transmisie, bolțuri, biele, cîrlige de tracțiune etc.

Oțelurile de scule sînt de calitate superioară, elaborate îngrijit, utilizate în primul rînd pentru fabricarea sculelor.

Oțelurile de scule semidure, cu un conținut de carbon mai mic, avînd o rezistență mare, o reziliență acceptabilă și o tenacitate încă destul de bună, sînt întrebuințate la fabricarea sculelor supuse loviturilor și șocurilor ca: ciocane, dălți, matrițe, scule de tîmplărie etc.

Oțelurile de scule dure, cu un conținut de carbon mai mare (avînd o rezistență și mai mare, o duritate mare, fiind ușor călibile, dar greu forjabile, greu sudabile, și cu o tenacitate mai scăzută) sînt întrebuințate pentru scule ca: burghie, filiere, bacuri pentru filetat, fierăstraie circulare, pînze de ferăstrău etc.

Oțelurile de scule extradure, cu un conținut de C foarte mare (avînd o rezistență mare, o alungire foarte mică, o duritate foarte mare, fiind foarte ușor călibile, foarte greu forjabile, cu o tenacitate foarte mică și fragilitate ridicată) se întrebuințează la fabricarea sculelor care trebuie să-și păstreze o muchie de tăiere ascuțită, nefiind supuse solicitărilor dinamice ca: cuțite pentru prelucrarea metalelor, freze, filiere de trefilare, instrumente chirurgicale etc.

3.2.4.4. **Oțelurile carbon cu destinație generală** sînt următoarele:

a — oțeluri de uz general, pentru construcții (STAS 500/1—78 și STAS 500/2—80), sînt oțeluri carbon obișnuite, prelucrate la cald, utilizate în mod curent fără tratamente termice la construcții metalice, construcții de mașini, ca oțel beton și în alte domenii în care nu se reclamă proprietăți deosebite. Se notează cu simbolul OL urmat de trei cifre care indică rezistența minimă de rupere la tracțiune în N/mm². Oțelurile de uz general pentru construcții au compoziția chimică și caracteristicile mecanice indicate în tabelul 3.6;

b — oțeluri carbon de calitate pentru tratament termic, destinate construcției de mașini (STAS 880—80), sînt obținute printr-o elaborare îngrijită și cu un grad de puritate chimică ridicat. La aceste oțeluri se garantează atît compoziția chimică, cît și caracteristicile mecanice. Spre deosebire de oțelurile obișnuite, oțelurile carbon de calitate se folosesc tratate termic sau termochimic în construcția de mașini, pentru piese supuse la solicitări deosebite. Se clasifică în oțeluri pentru cementare și pentru îmbunătățire. Simbolizarea se face cu literele OLC urmate de un grup de două cifre care reprezintă conținutul mediu de carbon în sutimi de procente (de exemplu: OLC 15; OLC 45). Mărcile standardizate de largă utilizare sînt prezentate în tabelul 3.7. La oțelurile carbon superioare se mai adaugă litera X (de exemplu: OLC 35 X);

c — oțelurile carbon turnate în piese (STAS 600—82) sînt oțeluri calmate și se notează cu literele OT urmate de un grup de trei cifre care reprezintă rezistența de rupere minimă la tracțiune în N/mm² și de o cifră care indică grupa oțelului. Exemple: OT 400 . . . OT 600;

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.6

Oțeluri de uz general pentru construcții

Marca oțelului	Conținutul maxim de C [%]	Rezistența la tracțiune R_m [N/mm²]	Alungirea la rupere A [%]
OL 320	0,15	310...390	33
OL 340	0,17	330...410	31
OL 370	0,19...0,25	360...440	25...26
OL 420	0,25...0,31	410...490	22...23
OL 440	0,22	430...450	22...25
OL 520	0,20...0,22	510...630	21...22
OL 500	0,30	490...610	21
OL 600	0,40	590...710	16
OL 700	0,50	min. 690	11
OL 300	—	min. 310	20

Tabelul 3.7

Oțeluri carbon de calitate pentru tratament termic, destinate construcției de mașini

Clasa	Marca oțelului	Conținutul de C [%]	Tratament termic	Rezistența la tracțiune R_m [N/mm²]	Alungirea la rupere A [%]	Duritatea HB în stare recoaptă
Pentru cementare	OLC 10	0,07...0,13	N	min. 340	31	131
	OLC 15	0,12...0,18	N	min. 380	27	146
	OLC 20	0,17...0,24	N	min. 410	25	156
			CR	490...640	20	—
Pentru îmbunătățire	OLC 25	0,22...0,29	N	min. 450	24	165
			CR	540...690	19	—
	OLC 35	0,32...0,39	N	min. 530	21	183
			CR	620...760	17	—
	OLC 45	0,42...0,50	N	min. 610	18	207
			CR	700...840	14	—
	OLC 50	0,47...0,55	N	min. 640	16	218
			CR	740...870	13	—
	OLC 55	0,52...0,60	N	min. 670	14	229
			CR	780...930	12	—
	OLC 60	0,57...0,65	N	min. 700	14	241
			CR	830...980	11	—

N-normalizare; C-călire; R-revenire înaltă.

d — oțeluri carbon pentru scule (STAS 1700—80). Sînt oțeluri carbon de calitate superioară, elaborate de obicei în cuptoare electrice și cu un conținut ridicat de carbon (peste 0,65%). Ele conțin cantități foarte mici de sulf și fosfor (S + P < 0,05%).

Scanned with OKEN Scanner

Simbolizarea acestor oțeluri se face cu grupa de litere OSC urmată de cifre, care indică conținutul mediu de carbon în zecimi de procente (de exemplu: OSC 7, OSC 13);

e — oțeluri calibrate (STAS 2880—75). Standardul stabilește condițiile generale ale oțelurilor carbon și aliate pentru construcții de mașini și ale oțelurilor pentru arcuri după felul prelucrării suprafeței, prin tragere, cojire sau șlefuire.

3.2.4.5. **Oțelurile carbon cu destinație precizată.** Utilizarea lor se bazează pe anumite proprietăți pe care aceste oțeluri le au ca urmare a compoziției lor chimice. Sînt simbolizate, de regulă, prin litere care indică destinația.

Oțeluri pentru automate (STAS 1350—80) sînt oțeluri cu un conținut ridicat de sulf și fosfor, care mărește fragilitatea și asigură desprinderea unor așchii fragile, ușor detașabile la prelucrarea prin așchiere, proprietăți necesare în cazul prelucrării pe mașini-unelte automate. Simbolul este AUT urmat de două cifre, ce indică conținutul mediu de carbon în sutimi de procente.

3.3. TRATAMENTE TERMICE ȘI TERMOCHIMICE

3.3.1. Clasificarea tratamentelor termice

3.3.1.1. **Generalități.** Tratamentele termice reprezintă o succesiune de operații tehnologice, care constau din încălziri și răciri în condiții bine determinate, aplicate unor materiale metalice în stare solidă, cu scopul de a obține structurile optime pentru realizarea anumitor asociații optime de proprietăți. În urma acestor tratamente, semifabricatele și piesele nu-și schimbă forma și dimensiunile inițiale.

În general, se tratează termic sau termochimic numai piesele mai importante de mașini, mai puternic solicitate, cu scopul de a îmbunătăți proprietățile mecanice ale materialului, de a mări rezistența la uzare, rezistența la coroziune, rezistența la temperaturi înalte etc. Cu cît o anumită mașină sau instalație este mai importantă și cu cît greutatea acesteia trebuie să fie mai mică, cu atît mai multe din piesele componente vor fi tratate termic. Aceste tratamente fiind destul de costisitoare, ele trebuie aplicate numai acolo unde sînt într-adevăr necesare și numai aliajelor care își îmbunătățesc simțitor proprietățile în urma tratamentelor termice. În orice caz, trebuie să se caute să fie utilizate la maximum performanțele oferite de materialul folosit, mai ales cînd este vorba de oțeluri aliate, la care există largi posibilități de ameliorare a proprietăților prin tratamente termice.

Diagramele de echilibru caracterizează aliajele într-o stare de echilibru structural complet, presupunînd că au avut loc încălziri sau răciri extrem de lente. Deoarece transformările necesită un anumit timp pentru desăvîrșirea lor, variind condițiile de încălzire, menținere sau de răcire, putem modifica structurile aliajelor și prin aceasta, proprietățile lor.

Fundamentarea științifică a transformărilor produse prin tratamente termice nu este posibilă fără să se cunoască starea de echilibru spre care tinde aliajul în mod spontan. Numai cu ajutorul diagramelor de echilibru pot fi stabilite corect tipurile de tratamente și condițiile de executare ale acestora, intervalele optime de temperatură la care va trebui să încălzim materialele.

Scanned with OKEN Scanner

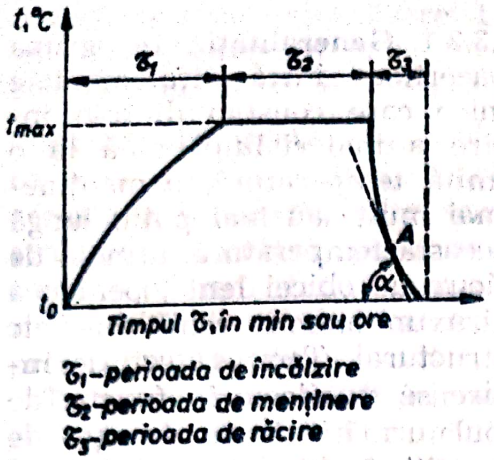


Fig. 3.66. Curba temperatură—timp a unui tratament termic.

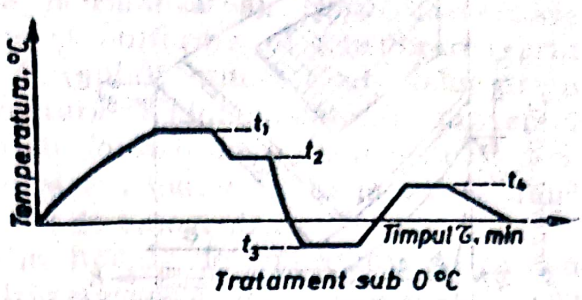


Fig. 3.67. Curba temperatură—timp a unui tratament termic mai complex.

Factorii principali în tratamentele termice sînt temperatura și timpul (fig. 3.66). Regimul unui tratament termic se caracterizează prin *parametrii:* viteza de încălzire; temperatura finală de încălzire t_{max}; durata de menținere la temperatura de încălzire τ_2; viteza de răcire.

Vitezele de încălzire sau de răcire pot fi medii sau reale; de exemplu:

$$v_{inc} = \frac{t_{max} - t_0}{\tau_1}\,;\quad v_{răc} = \frac{t_{max} - t_0}{\tau_3}\,;\quad v_{real} = \frac{dt}{d\tau}\,.$$

Viteza reală de răcire în punctul A (fig. 3.66) este tangenta unghiului α al dreptei tangente duse la curba de răcire în punctul respectiv.

Tratamentele termice pot fi însă și mai complexe, alcătuite din mai multe încălziri, răciri, menținieri la diferite temperaturi etc. (fig. 3.67).

3.3.1.2. **Clasificarea tratamentelor termice.** Tratamentele termice pot fi grupate în următoarele trei categorii: *a* — tratamente termice, unde materialele sau piesele sînt supuse numai variațiilor de temperatură; *b* — tratamente termochimice, unde variațiile de temperatură sînt însoțite și de modificarea compoziției chimice a straturilor superficiale prin difuziune; *c* — tratamente termofizice, apărute abia în ultimele decenii, care constau în combinarea proceselor termice cu procese fizice.

a — Tratamentele termice propriu-zise pot fi clasificate în trei grupe mari: *1* — recoacerile; *2* — călirea; *3* — revenirea. În cadrul recoacerii, în funcție de scopul urmărit, deosebim următoarele categorii de recoaceri: recoacerea pentru obținerea stării de echilibru; recoacerea de omogenizare; recoacerea de normalizare; recoacerea de recristalizare; recoacerea de detensionare; recoacerea de înmuiere.

b — Tratamentele termochimice cuprind următoarele variante în funcție de elementul care difuzează în oțel: carburarea (cementarea) (C); nitrurarea (N); carbonitrurarea și cianurarea (C + N simultan); aluminierea (Al); silicierea (Si); cromizarea (Cr) etc.

c — Tratamentele termofizice pot fi de diferite feluri, dintre care amintim: tratamentele *termomecanice*, cînd deformările plastice la cald sau la rece sînt reunite cu tratamentele termice într-un singur proces tehnologic; tratamentele *termomagnetice*, cînd operațiile de tratament termic sînt combinate cu acțiunea unui cîmp magnetic puternic. Se mai aplică tratamente termomecanochimice, termomecanomagnetice și termoelectrochimice.

Scanned with OKEN Scanner

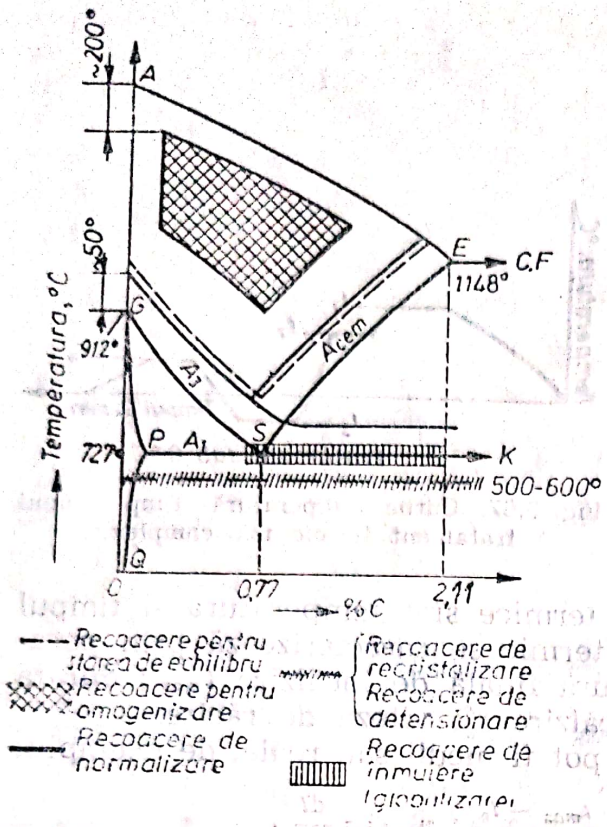


Fig. 3.68. Domeniile temperaturilor de încălzire pentru diferitele timpuri de recoaceri.

3.3.2. Recoacerea oțelurilor

3.3.2.1. Generalități. În grupa recoacerilor intră tratamentele termice care constau dintr-o încălzire a materialului pînă la o anumită temperatură, o menținere mai mult sau mai puțin lungă la această temperatură, urmată de o răcire de obicei lentă, pentru a realiza un anumit echilibru fizic și structural. Temperatura de încălzire se stabilește în funcție de scopul urmărit și în funcție de compoziția chimică a oțelului (% C), pe baza diagramei fier-carbon, așa cum rezultă și din figura 3.68. Vitezele de încălzire și duratele de menținere, pe lîngă factorii amintiți, depind în mare măsură și de dimensiunile pieselor și de complexitatea formei.

3.3.2.2. Recoacerea pentru obținerea stării de echilibru. Se urmărește realizarea unui echilibru fizico-chimic și structural complet, aducerea oțelului în stare corespunzătoare diagramei de echilibru. Constă dintr-o încălzire a oțelurilor cu 30 . . . 50°C peste liniile de transformare A_3 sau A_{cem} (v. fig. 3.68), o menținere pentru omogenizarea temperaturii în toată masa semifabricatului, urmată de o răcire foarte lentă (10 . . . 20°C/oră), realizată fără scoaterea pieselor din cuptor, împreună cu acesta. Se obține transformarea austenitei în perlită lamelară, însoțită de ferită sau cementită secundară.

Această recoacere se utilizează pentru distrugerea efectului unui tratament termic anterior, necunoscut sau incorect efectuat și pentru a reduce duritatea cît mai mult, în vederea prelucrării mecanice mai ușoare.

3.3.2.3. Recoacerea de omogenizare. Recoacerea de omogenizare pentru egalizarea compoziției se aplică atît la oțeluri, cît și la alte aliaje, la care a apărut anterior o segregație puternică dendritică. Aceste neomogenități de ordin chimic se produc de obicei în lingouri și în piesele turnate de mașini.

Tratamentul constă dintr-o încălzire îndelungată *la o temperatură foarte ridicată*, pentru a favoriza și accelera procesul de difuziune în stare solidă (în austenită), care să ducă la egalizarea concentrațiilor (recoacere de difuziune). La oțeluri, temperatura se alege cu circa 200°C sub linia solidus, de obicei menținînd piesele sau lingourile la 1100 . . . . . 1150°C timp de 10 . . . 15 ore (v. zona hașurată din fig. 3.68), după care urmează o răcire lentă, cu viteza de circa 100°C/oră.

Deoarece astfel se realizează și o *„supraîncălzire"*, se ajunge la o structură cu totul grosolană, cu proprietăți mecanice nefavorabile, ceea ce

Scanned with OKEN Scanner

reclamă aplicarea ulterioară a unei recoaceri pentru finisarea grăunților, o recoacere de normalizare. La lingouri destinate laminării sau forjării, nu este necesară a doua recoacere, deoarece finisarea structurii se va realiza prin însăși deformarea plastică ulterioară.

3.3.2.4. **Recoacerea de normalizare (normalizarea).** Normalizarea are ca scop realizarea unei structuri fine și uniforme, și ameliorarea prin aceasta a caracteristicilor mecanice. Se aplică atunci cînd oțelul are o structură grosolană (așa-numita structură Widmannstätten), provenită fie din turnare, fie în urma terminării forjării la o temperatură prea ridicată, fie în urma încălzirii îndelungate a materialului la temperaturi prea ridicate în timpul sudării, recoacerii de omogenizare etc.

Temperatura normalizării se alege în funcție de conținutul de carbon al oțelului, depășind punctele de transformare A_3, respectiv A_{cem} cu 30 . . . 50°C (fig. 3.68). După o menținere de omogenizare a temperaturii; urmează o răcire lentă în aer liber (100 . . . 200°C/oră).

Fărîmițarea grăunților grosolani și neuniformi se bazează pe transformarea $\alpha \rightarrow \gamma$. La încălzirea peste punctul critic, la intrarea în domeniul γ, apar multe centre de cristalizare de austenită în interiorul grăunților mari și astfel se obține o structură austenitică foarte fină. Dacă nu se depășește cu mult temperatura de formare a austenitei și menținerea este scurtă, structura fină și uniformă, astfel realizată, se va menține și după răcire, transformîndu-se în perlită și ferită (sau cementită) fină.

La oțelurile hipereutectoide, dacă cementita secundară nu este în rețea, normalizarea se poate realiza printr-o încălzire numai peste temperatura A_1. Dacă cementita este însă în rețea, trebuie să se încălzească materialul peste temperatura A_{cem} pentru dizolvarea rețelei, care delimitînd grăunții grosolani, nu ar permite realizarea unei structuri fine.

Prin normalizare se îmbunătățesc în mod simțitor caracteristicile mecanice ale oțelului cum sînt: limita de curgere, rezistența de rupere la tracțiune, alungirea, gîtuirea și reziliența. Normalizarea, uneori, este folosită ca o operație pregătitoare pentru alte tratamente termice.

3.3.2.5. **Recoacerea de recristalizare.** Prin recoacerea de recristalizare se urmărește eliminarea efectelor ecruisării de la o deformare plastică la rece anterioară, prin obținerea unei generații de grăunți a căror mărime este determinată de gradul de ecruisare prealabil, de temperatura și de durata de menținere la temperatura de recoacere.

Încălzind oțelul cu 200 . . . 300°C peste temperatura de început de recristalizare (la oțel 450°C plus 200 . . . 300°C, deci lucrînd practic la 600 . . . 700°C), urmată de o răcire lentă, se reface structura cu grăunți echiaxiali și fini, oțelul recîștigînd proprietățile inițiale de plasticitate. Astfel, după o recoacere de recristalizare, materialul este din nou apt de a suporta alte deformări plastice la rece, putîndu-se continua trefilarea, ambutisarea etc.

3.3.2.6. **Recoacerea de detensionare.** Este un tratament termic care se poate aplica la toate metalele și are drept scop eliminarea tensiunilor interne provocate de diferite prelucrări sau operații tehnologice aplicate anterior ca: turnare, sudare, forjare, ambutisare etc. Astfel se pot preveni deformațiile ulterioare spontane și apariția unor crăpături sau microfisuri în piesele de fontă sau de oțel, *după* prelucrarea acestora la dimensiunea finită prin așchiere. Tensiunile de călire vor fi înlăturate prin operația de revenire.

Scanned with OKEN Scanner

Eliminarea tensiunilor este necesară, mai ales, la piesele turnate din oțel, la cele obținute prin sudare și, în general, la piesele mai importante și mai complexe ca formă, la care se cere și o precizie dimensională mai mare ca: blocuri de motor, cămăși de cilindri, roți dințate, batiuri de mașini realizate prin sudură, diferite piese de mașini asamblate prin sudură din mai multe părți etc.

Temperatura de detensionare se află sub punctul critic de transformare A_1 și este cuprinsă între 550 . . . 650°C (v. fig. 3.68). Atingînd această temperatură, piesele se mențin un timp oarecare (cîteva ore) în funcție de mărimea și complexitatea lor, după care se lasă să se răcească încet în cuptor, fiind nevoie de o răcire cît mai lentă.

3.3.2.7. **Recoacerea de înmuiere.** Recoacerea de înmuiere (de globulizare) are ca scop reducerea durității și rezistenței mecanice a oțelurilor cu un conținut mai ridicat de carbon, cu intenția de a le face mai ușor prelucrabile prin așchiere sau prin deformare la rece și uneori de a obține o anumită structură în vederea tratamentelor termice ulterioare. Se obține astfel o structură cu perlită globulară, caracterizată printr-o prelucrabilitate foarte bună prin așchiere.

Recoacerea de înmuiere constă din încălzirea oțelului peste temperatura A_1, apoi menținerea de cîteva ore (chiar pînă la 8 . . . 10 ore) imediat sub temperatura A_1 (durata menținerii depinzînd de compoziția chimică și de dimensiunea piesei, de grosimea pereților), urmată de o răcire lentă în cuptor.

Rezultate mai bune și totodată într-un timp mai scurt, se pot obține printr-o *recoacere pendulară*, care constă din încălziri și răciri alternative în jurul punctului A_1, oscilațiile fiind de plus—minus 10 . . . 20°C (fig. 3.69).

După prelucrarea mecanică prin așchiere sau deformarea la rece a acestor piese, li se mai aplică un tratament termic de îmbunătățire (călire + revenire), cu scopul de a obține o ameliorare a caracteristicilor mecanice.

Cu titlu general trebuie încă menționat că uneori pot fi combinate într-o singură operație de tratament termic complex, două sau mai multe

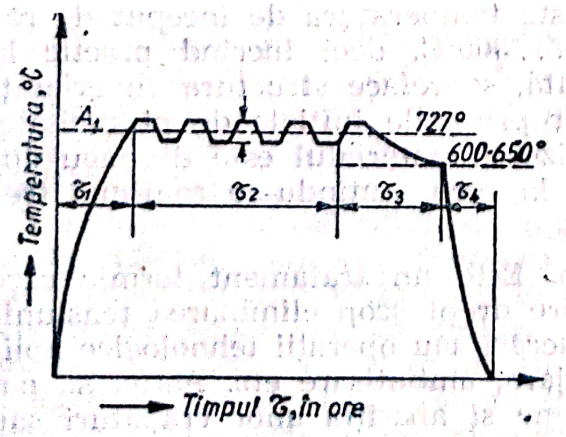


Fig. 3.69. Curba temperatură—timp a unei recoaceri de înmuiere (scurtarea duratei prin pendulare).

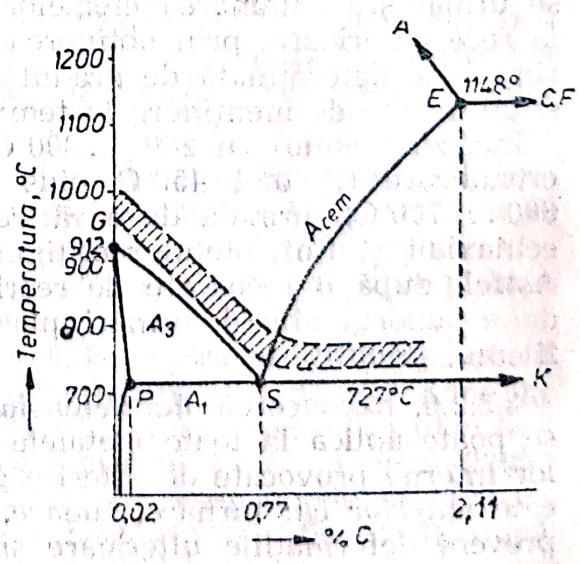


Fig. 3.70. Domeniul temperaturilor de încălzire pentru călire.

Scanned with OKEN Scanner

recoaceri. De exemplu, se face o normalizare la A_3 sau A_{cem} plus 30 ... ... 50°C, o răcire în aer pînă la 550 ... 650°C şi apoi o răcire în cuptor pentru detensionare.

Recoacerea la alb poate fi oricare dintre recoacerile sus-amintite, dacă încălzirea (şi răcirea) pieselor se realizează în cuptoare cu *atmosferă controlată*, de protecţie, astfel încît oxidarea suprafeţei pieselor să fie redusă la minimum şi produsul să rămînă fără ţunder, cu suprafaţa curată, aproape lucioasă (albă).

3.3.3. Călirea şi revenirea oţelurilor

3.3.3.1. **Generalităţi.** Călirea este tratamentul termic care constă dintr-o încălzire a oţelului la temperaturi cu 30 ... 50°C deasupra liniilor *GOSK* (fig. 3.70), o menţinere la această temperatură pentru omogenizare, urmată de o răcire rapidă, depăşind viteza critică de călire, în scopul realizării la temperatura ambiantă a unor structuri în afară de echilibru (martensită, troostită, sorbită etc.). Prin aceasta se asigură o duritate ridicată, o rezistenţă bună la uzare etc.

Deoarece după călire piesele din oţel sînt foarte fragile şi prezintă tensiuni interne pronunţate, ele se supun ulterior unui alt tratament termic de *revenire*, cu scopul de a mări tenacitatea, de a anula în mare măsură tensiunile interne şi de a aduce oţelul călit într-o stare mai stabilă, fără însă să se piardă mult din duritatea obţinută în urma călirii. Tratamentul termic de călire, urmat de o revenire înaltă, se numeşte *îmbunătăţire*. Tratamentul de îmbunătăţire se aplică pieselor turnate şi a celor obţinute prin deformare plastică, *după* prelucrarea acestora prin aşchiere, cu scopul de a obţine caracteristici fizico-mecanice superioare.

Transformarea austenitei la răcire. Înainte de călire, oţelurile sînt încălzite, peste temperatura de transformare Ac_3, în domeniul austenitei, unde întreaga cantitate de carbon din oţel se dizolvă în fierul γ (austenitizare). Austenita este cristalizată în sistemul cubic cu feţe centrate, atomul de carbon fiind aşezat în centrul liber al volumului celulei elementare. Prin răcire însă, fierul γ se transformă în fier α cu sistem cubic cu volum centrat, cu un atom de fier în centrul volumului. Astfel, atomul de carbon nu îşi mai are locul în celula elementară şi caută să se deplaseze înspre exteriorul celulei, să părăsească soluţia solidă de ferită în curs de formare.

Se pot deosebi diferite stadii de transformare ale soluţiei solide γ suprarăcite. Dacă luăm, de exemplu, un oţel eutectoid, în punctul Ar_1 (727°C) are loc transformarea austenitei în stare solidă în perlită, conform diagramei fier-carbon. Pentru a ajunge însă la starea de echilibru, austenita suprarăcită trece prin următoarele stadii intermediare de transformare:

— *primul stadiu (I)* — regruparea atomilor din reţeaua fierului γ în reţeaua cristalină a fierului α, care nu mai dizolvă aproape deloc carbonul. Carbonul nu poate fi însă eliminat instantaneu, el rămîne deocamdată blocat în soluţie, deformînd reţeaua fierului α. Soluţia solidă α mult suprasaturată, cu reţeaua puternic deformată, tensionată, poartă numele de *martensită* α, cu reţea tetragonală, fiind în afara echilibrului;

— *stadiul al doilea de transformare (II)* corespunde separării carbonului din soluţia solidă suprasaturată sub formă de carburi. Prin sepa-

rarea cementitei, soluția solidă se transformă în ferită, dar carbonul fiind foarte dispers, se realizează propriu-zis trecerea de la soluția solidă la un amestec mecanic extrem de fin dispers;

— *în stadiul al treilea de transformare (III)* are loc prin difuziune aglomerarea (coagularea) fazei disperse de cementită, ajungîndu-se la amestecuri din ce în ce mai puțin fin dispersate. Noua structură poate fi identificată întîi numai la microscoape electronice, apoi și la cele metalografice, corespunzînd la stări din ce în ce mai apropiate de echilibru.

Viteza de răcire, determinînd valoarea suprarăcirii soluției solide, determină și caracterul structurii obținute. La viteze de răcire foarte mari, se realizează numai stadiul întîi de transformare perlitică, obținînd *martensită* α și o oarecare cantitate de austenită netransformată, numită *austenită reziduală*.

Valoarea minimă a vitezei de răcire, care permite obținerea structurii total martensitice, se numește *viteza critică de călire*.

Transformarea austenitei în martensită se realizează într-un interval de temperatură, începutul transformării fiind notat cu M_s (s = start), iar sfîrșitul transformării cu M_f (f = finish), aceste temperaturi depinzînd de conținutul de carbon și de elementele de aliere din oțelul respectiv. În figura 3.71 este dată poziția punctelor M_s și M_f pentru oțelurile carbon.

La viteze mai mici de răcire încep să se realizeze și stadiile *II*, respectiv *III* de transformare, structura obținută fiind formată din amestecuri disperse de ferită și cementită. Cu cît viteza de răcire este mai mică, cu atît structura se apropie din ce în ce mai mult de starea de echilibru, deci de structura perlitică lamelară obișnuită. Pot să apară astfel între martensită și perlită structuri intermediare, corespunzătoare la diferite grade de dispersie: *troostita* care este un amestec ferito-cementitic extrem de fin dispers, cu duritatea de circa 400 HB, mai mică decît a martensitei (care este de 600 . . . 650 HB) și *perilita sorbitică* care este un amestec ferito-cementitic fin dispers, cu circa 250 HB, deci cu duritatea și rezistența intermediară între troostită și perlită.

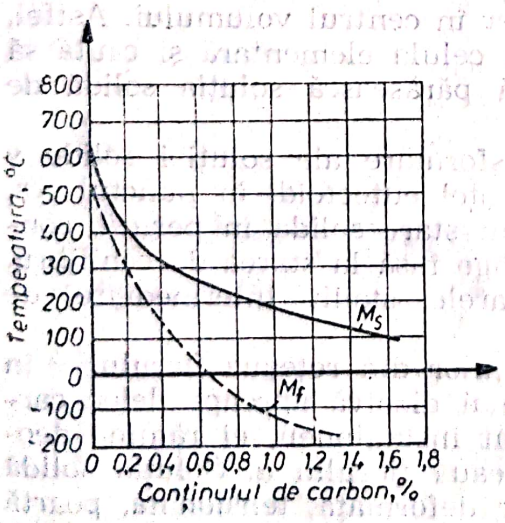


Fig. 3.71. Temperatura punctelor martensitice M_s și M_f în funcție de conținutul de carbon.

3.3.3.2. **Călirea și călibilitatea.** *Temperatura optimă de călire* pentru oțelurile carbon se determină pe baza diagramei fier-carbon (porțiunea hașurată din fig. 3.70). Pentru oțelurile hipoeutectoide se alege o temperatură cu 30 . . . 50°C deasupra liniei *GOS* (punctul Ac_3). Dacă s-ar face o încălzire sub linia de transformare *GOS*, trecerea în austenită a feritei ar fi incompletă, iar după călire, pe lîngă martensita formată, rămîne și ferită, care micșorează duritatea oțelului.

Oțelurile hipereutectoide se încălzesc cu 30 . . . 50°C deasupra liniei *PSK* (punctul de transformare Ac_1), unde

perilita se transformă integral în austenită. Cementita secundară, nedizolvată integral în austenită, nu prejudiciază duritatea oțelului călit. O încălzire peste linia *SE* (A_{cem}), ar fi chiar dăunătoare din cauza pericolului de supraîncălzire, ardere și de apariție a tensiunilor interne pronunțate, care ar putea cauza și fisurarea piesei sau sculei călite.

La oțelurile aliate, temperatura de călire se determină tot în funcție de temperatura punctelor critice Ac_1 și Ac_3, și este dată în STAS-urile oțelurilor respective. O excepție face oțelul rapid de scule, care se încălzește înainte de călire la o temperatură deosebit de ridicată (circa 1280°C), în vederea dizolvării carburilor de wolfram.

Durata de menținere la temperatura de călire trebuie să fie suficientă pentru ca să se producă toate transformările dorite în stare solidă și omogenizarea compoziției chimice a soluției solide γ. La o durată de menținere prea mare, are loc o creștere pronunțată a grăuntelui de austenită, ajungînd după călire la o structură martensitică grosolană și o cantitate mai mare de austenită reziduală. Dacă în timpul menținerii poate să apară și o decarburare, piesele călite vor avea un strat superficial mai moale, tocmai acolo unde în exploatare se cere duritatea maximă. La o durată de menținere insuficientă, carburile se dizolvă incomplet, martensita nu va avea duritatea necesară și din cauza neomogenizării temperaturii în toată masa piesei, se poate obține un oțel incomplet călit.

Viteza de răcire este funcție de natura și conductivitatea termică a mediului de răcire, cît și de conductivitatea termică a metalului care se călește. La călire, viteza de răcire trebuie să depășească *viteza critică de călire*, care asigură obținerea unei structuri total martensitice (la oțeluri carbon 150 . . . 250°C/s). Viteza critică de călire la oțeluri depinde de conținutul de carbon și de elementele de aliere, care determină în general o scădere a valorii acesteia.

Alegerea mediului de răcire și temperatura acestuia trebuie făcută în funcție de compoziția oțelului, de forma și dimensiunile piesei. O răcire mult prea bruscă favorizează formarea tensiunilor și crăpăturilor. Piesele scumpe și de formă complicată se călesc chiar mai încet decît ar fi necesar în mod normal, ca să se evite deformațiile și apariția crăpăturilor. În acest sens trebuie evitate și colțurile ascuțite la schimbările de secțiune a pieselor care urmează să fie călite (fig. 3.72).

Din punctul de vedere al activității mediilor de răcire se poate da următoarea serie: apa rece și soluțiile apoase; apa caldă; uleiurile și emulsiile; curentul de aer rece; aerul staționar; băile de săruri sau de metale topite. Transmiterea căldurii de la piesă la mediul de răcire se poate intensifica și uniformiza prin *mișcarea piesei* în baie, sau prevăzînd dispozitive de agitare a mediului de răcire, prin care se înlătură și stratul izolator de vapori, format la introducerea piesei incandescente în lichidul de răcire.

Grosimea stratului călit. În mod practic, în timpul răcirii se produce o inegalitate de temperatură și de viteză de răcire în masa piesei. La suprafața piesei avem viteza maximă de răcire, unde contactul cu mediul de răcire este direct, vitezele de răcire descrescînd spre centrul piesei. Astfel, prin călire, se pot forma la piesele cu diametrul sau grosimea secțiunii mare, o serie de structuri, cu durități din ce în ce mai mici spre mijlocul secțiunii (fig. 3.73). În apropierea suprafeței piesei (zona *I*), unde viteza efectivă de răcire depășește viteza critică de călire, se formează o struc-

Scanned with OKEN Scanner

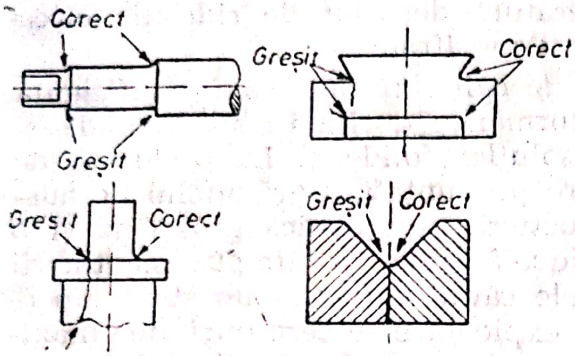


Fig. 3.72. Exemple pentru alegerea corectă a formei pieselor călite.

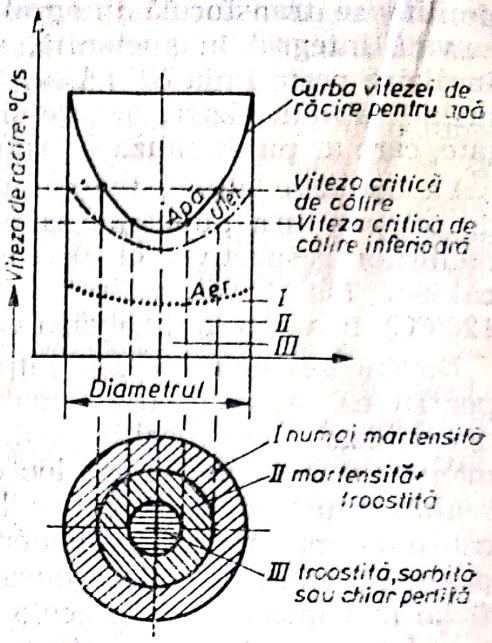


Fig. 3.73. Variația vitezei de răcire în secțiunea unei piese cilindrice și formarea stratului călit pentru diferite medii de răcire.

tură completă martensitică. Zona *III* din centrul unei piese de secțiune mare, unde viteza de răcire este mai mică decît *viteza critică de călire inferioară*, nu se mai formează deloc martensită, obținînd o structură troostitică, sorbitică sau chiar perlitică. În zona intermediară *II* se obține martensită și troostită, cantitatea martensitei fiind din ce în ce mai mică, pe măsura îndepărtării de la suprafața piesei.

Duritatea maximă și de valoare constantă se realizează numai în zona superficială *I*, complet martensitică, ea micșorîndu-se apoi treptat în zona de trecere *II*, iar în zona centrală *III* se obține o duritate mică.

Dacă mediul de călire poate asigura numai o viteză de răcire mai redusă (de exemplu curba punct-linie din figura 3.73, corespunzătoare pentru ulei), grosimea stratului complet martensitic *I* va fi mult mai mică sau chiar va lipsi, fiind deplasate și limitele celorlalte straturi din secțiunea piesei călite.

Călibilitatea este capacitatea oțelului de a se căli, caracterizată prin adîncimea de pătrundere a călirii și prin realizarea unei anumite durități minime. Călibilitatea crește cu mărirea conținutului de carbon și de anumite elemente de aliere (Ni, Mn, Mo, B etc.), cu temperatura de încălzire și cu mărimea cristalitelor. Oțelurile cu un conținut de carbon sub 0,4%, se călesc greu și duritatea obținută este mai mică, iar sub 0,25% C, oțelurile carbon practic nu se călesc (numai după o cementare prealabilă). Prin aliere, călibilitatea poate fi simțitor îmbunătățită, micșorîndu-se și viteza critică de călire. Aceste oțeluri bogat aliate pot fi călite în medii mai puțin active (în ulei sau în anumite cazuri chiar în aer, ajungînd pînă la oțelurile autocălibile).

În figura 3.74 se prezintă secțiunile unor piese cilindrice de același diametru, executate din trei oțeluri, cu călibilități diferite, care au fost călite în condiții identice. Oțelul *I*, cu călibilitate slabă, se călește pe o zonă superficială subțire. Oțelul *III*, avînd o călibilitate foarte bună, se va căli pe toată secțiunea.

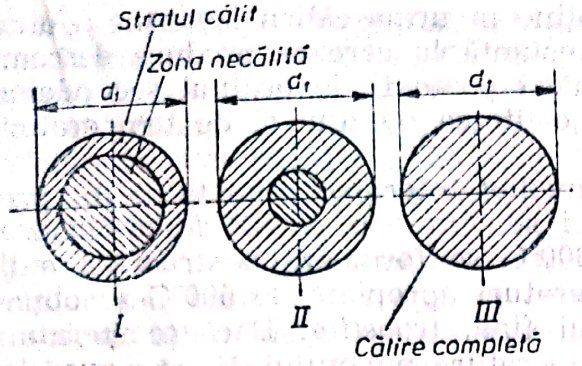


Fig. 3.74. Influența călibilității oțelurilor asupra grosimii stratului călit.

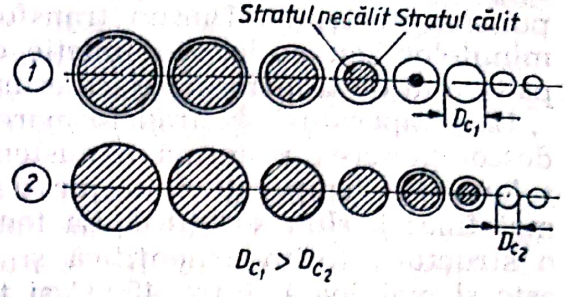


Fig. 3.75. Diametrul critic pentru două oțeluri cu călibilități diferite.

Diametrul critic D_c este diametrul secțiunii maxime care încă se călește complet într-un anumit mediu. Oțelul *1* din figura 3.75, cu o călibilitate mai bună, se călește complet pînă la un diametru mai mare, decît oțelul *2*, care are o călibilitate mai slabă. La oțelurile carbon, diametrul critic în general este de numai 10 . . . 15 mm.

Călibilitatea oțelurilor se determină prin metoda răcirii frontale, metoda Jominy, conform STAS 4930—80.

3.3.3.3. **Metodele de călire** utilizate în practica industrială sînt numeroase și variate:

a — călirea simplă (pătrunsă), se face într-un singur mediu de răcire, așa cum s-a arătat în cele de mai sus. Se aplică pieselor cu forme simple, fără variații mari de secțiune, fiind metoda cea mai răspîndită de călire;

b — călirea izotermă constă dintr-o răcire bruscă pînă la o anumită temperatură, superioară punctului M_s, o menținere mai îndelungată la această temperatură constantă, urmată de răcirea pînă la temperatura ambiantă. În timpul menținerii are loc transformarea izotermă a austenitei suprarăcite, care nu începe însă imediat după ce piesa a ajuns la temperatura băii (perioadă de incubație). *Diagramele TTT* (transformare, temperatură, timp), care pot fi construite pentru fiecare marcă de oțel, cuprind două curbe, ce reprezintă începutul și sfîrșitul transformării austenitei la temperatură constantă, orizontala punctului critic A_1 și orizontala punctului martensitic M_s (fig. 3.76). Perioada de incubație, durata de

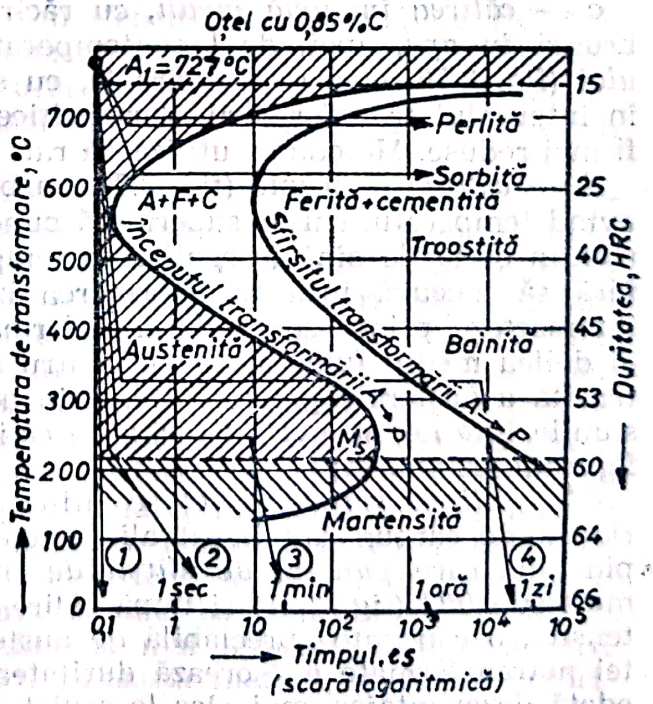


Fig. 3.76. Diagrama *TTT* pentru călirea izotermă a unui oțel carbon cu 0,85% C.

transformare și structura care se obține în urma călirii izoterme a unui oțel dat depinde de temperatura constantă la care se produce descompunerea austeniei. Durata transformării poate fi de ordinul secundelor, minutelor sau orelor, în funcție de calitatea oțelului și de temperatura palierului de transformare izotermă.

La temperaturi de transformare imediat inferioare punctului A_1, prin descompunerea izotermă a austenitei se obține o *perlită lamelară grosolană*. La temperaturi în jur de 600°C se formează o structură mult mai fină: *perlita sorbitică*. La temperaturi apropiate de 500°C se obține o structură ferito-cementitică și mai fină, *troostita*. Dacă temperatura este și mai joasă, între 450°C și temperatura punctului M_s, va avea loc *transformarea bainitică*, care este intermediară între transformarea perlitică și cea martensitică. *Bainita* are o structură aciculară foarte fină și o duritate ridicată (între 45 . . . 55 HRC). Rezistența și duritatea ridicată a bainitei, fiind însoțită și de o bună rezilienă în general, călirea izotermă urmărește obținerea structurii finale de bainită, ale cărei caracteristici mecanice sînt deosebit de favorabile. În sfîrșit dacă transformarea este realizată într-un interval de temperatură sub treapta martensitică M_s (circa 150 . . . 200°C, în funcție de % C al oțelului), are loc o transformare propriu-zis martensitică, obținînd o *structură martensitică*, cu cantități mai mici sau mai mari de austenită reziduală.

Structura bainitică fiind aproape lipsită de tensiuni interne (termice și structurale), avînd totodată și o tenacitate suficientă, după călirea izotermă pentru bainită, nu mai este necesară aplicarea operației de revenire (ceea ce este un avantaj important).

Această metodă modernă de călire izotermă în băi de săruri topite se aplică la călirea sculelor și matrițelor, precum și la oțeluri de construcție și oțeluri speciale cu Mn și Cr, evitîndu-se pericolul de deformare și fisurare de la călirea pătrunsă, mai ales la piesele și sculele de forme mai complicate și cu pereți subțiri;

c — călirea în două medii, cu răcire succesivă, constă dintr-o răcire bruscă *în apă*, apoi, de la o temperatură superioară punctului M_s, *în ulei* (fig. 3.76, curba de răcire *2*), cu scopul de a realiza o răcire lentă în intervalul transformării martensitice, prin care tensiunile interne vor fi mai reduse. Metoda se utilizează rar;

d — călirea în trepte (fig. 3.76, curba de răcire *3*), folosește un mediu avînd temperatura ușor superioară punctului M_s (circa 250°C), în care se mențin oțelurile pînă la egalizarea temperaturii în toată secțiunea piesei, fără să înceapă însă transformarea izotermă a austenitei (fără să se intersecteze prima curbă de transformare), urmînd apoi răcirea într-un al doilea mediu (ulei sau aer), pentru a avea loc transformarea în martensită a austenitei suprarăcite. Prin acest tratament se micșorează tensiunile interne, se evită fisurile de călire și deformarea pieselor cu configurație complexă;

e — călirea sub zero °C se utilizează pentru oțelurile cu conținut ridicat de carbon sau bogat aliate (oțeluri carbon de scule, oțeluri rapide), la care *punctul de sfîrșit de transformare martensitică* M_f este mult sub 0°C (fig. 3.71) și după călirea obișnuită rămîne, pe lîngă martensită, o cantitate apreciabilă de austenită reziduală. Prezența austenitei netransformate micșorează duritatea pieselor călite (ceea ce este totodată dezavantajos, mai ales la sculele aschietoare!), iar în timpul revenirii, transformarea austenitei reziduale în martensită provoacă deformarea piesei. Aici imediat după călirea pieselor, acestea, vor fi răcite

Scanned with OKEN Scanner

la circa —70°C, pe cît posibil sub punctul M_f, pentru a desăvîrși astfel transformarea martensitică. Ca mediu de răcire se poate folosi zăpada carbonică, aerul lichid, azotul lichid etc. Acest tratament se aplică sculelor și pieselor de mare precizie, elementelor aparatelor de măsurat, sculelor de oțel rapid etc. cu scopul de a stabiliza dimensiunile, de a mări duritatea, rezistența la uzare, și la scule, de a le mări capacitatea de așchiere;

f — *patentarea* este o călire izotermă care se aplică sîrmelor trefilate, benzilor sau barelor din oțel cu conținut mediu sau ridicat de carbon, cu scopul dublu: de a realiza o *structură sorbitică*, care să permită un număr maxim de treceri succesive prin filiere și de a asigura totodată produsului finit caracteristici mecanice optime, conform prescripțiilor pentru produsul respectiv. După acest tratament, oțelul este plastic (ușor deformabil la rece), avînd în același timp și o rezistență de rupere ridicată de 700 ... 1500 N/mm², în funcție de conținutul de carbon al materialului.

Patentarea constă dintr-o încălzire și menținere deasupra punctului de transformare A_3 (între 850 și 1100°C în funcție de % de C al oțelului) pentru o austenitizare completă, urmată de o răcire bruscă într-o baie de plumb sau săruri topite la 400 ... 550°C, după care răcirea continuă în aer pînă la temperatura ambiantă;

g — *călirea locală*, spre deosebire de călirea totală, urmărește realizarea călirii numai pe anumite porțiuni ale piesei, prin cufundarea parțială a piesei în baia de răcire, sau prin încălzirea numai parțială a piesei în băi de săruri topite, înaintea călirii în mediul de răcire prescris;

h — *călirea superficială* constă din încălzirea straturilor superficiale ale piesei de oțel la o temperatură corespunzătoare călirii, menținînd miezul la o temperatură mai joasă, după care urmează o răcire rapidă. Astfel se călește numai stratul de la suprafața piesei pe o adîncime corespunzătoare, miezul rămînînd necălit, moale și tenace, rezistent la solicitări dinamice. Stratul exterior martensitic, cu o duritate ridicată, asigură pieselor o rezistență bună la uzare și oboseală.

După modul de încălzire a stratului de la suprafața pieselor, procedeele de călire superficială mai răspîndite sînt următoarele: cu flacără, prin inducție; prin contact electric.

• *Călirea cu flacără* constă dintr-o încălzire cu ajutorul flăcării produse de un arzător oxiacetilenic, care se deplasează cu o anumită viteză constantă de-a lungul suprafeței de călit, iar în urma arzătorului, un jet de apă proiectat asupra piesei realizează răcirea rapidă necesară (fig. 3.77, *a*). Adîncimea de pătrundere a călirii este de 3 ... 10 mm.

Călirea cu flacără prezintă avantajul că folosește un utilaj simplu, ieftin și ușor accesibil. Forma arzătorului și a dușului de apă trebuie să fie adaptată formei piesei. Piesele rotunde se rotesc în timpul călirii pentru a obține un strat călit cît mai uniform, aplicînd la piese scurte călirea succesivă, sau la piese lungi metoda călirii continue (fig. 3.77, *b* și *c*). Rezultatul călirii depinde de calitatea oțelului, de viteza de încălzire (debitul de amestec gaz-oxigen), de viteza de avans, de intensitatea răcirii etc. Metoda prezintă dezavantajul unei omogenități mai reduse a stratului călit, unui reglaj mai dificil și mai imprecis a temperaturii și a celorlalte condiții de lucru. Prin această metodă se călesc arbori, fusuri, bandaje, roți dințate mari, ghidaje etc.

• *Călirea prin inducție*, de obicei cu *curenți de înaltă frecvență* (CIF), realizează încălzirea superficială cu ajutorul unui cîmp electromagnetic

Scanned with OKEN Scanner

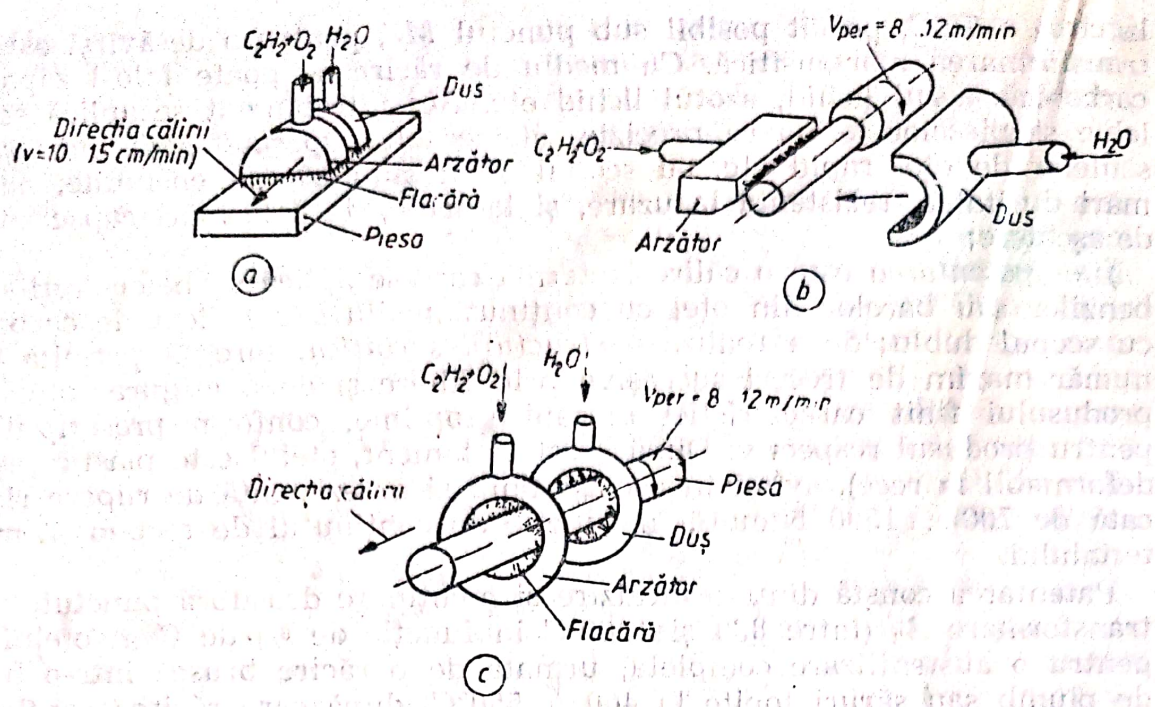


Fig 3.77. Călirea superficială cu flacără, diferite variante.

alternativ, produs de un inductor de formă adecvată, care urmărește cît mai fidel forma suprafeței de călit. Datorită efectului pelicular, adîncimea zonei încălzite este cu atît mai mică cu cît frecvența curentului este mai mare. Temperatura de încălzire trebuie să fie cu 100 . . . 200°C peste Ac_3 (față de $Ac_3 + 30 \ldots 50$°C de la călirea obișnuită), datorită vitezei foarte mari de încălzire și timpului scurt de menținere la temperatura călirii. Răcirea suprafeței încălzite se realizează și aici prin stropire cu un jet puternic de apă (fig. 3.78), așezat sub inductor.

Generatoarele mecanice dau un curent cu frecvența între 500 și 10000 Hz și sînt folosite pentru realizarea unor straturi călite mai groase, între 2 și 20 mm. Generatoarele cu tuburi electronice avînd frecvența

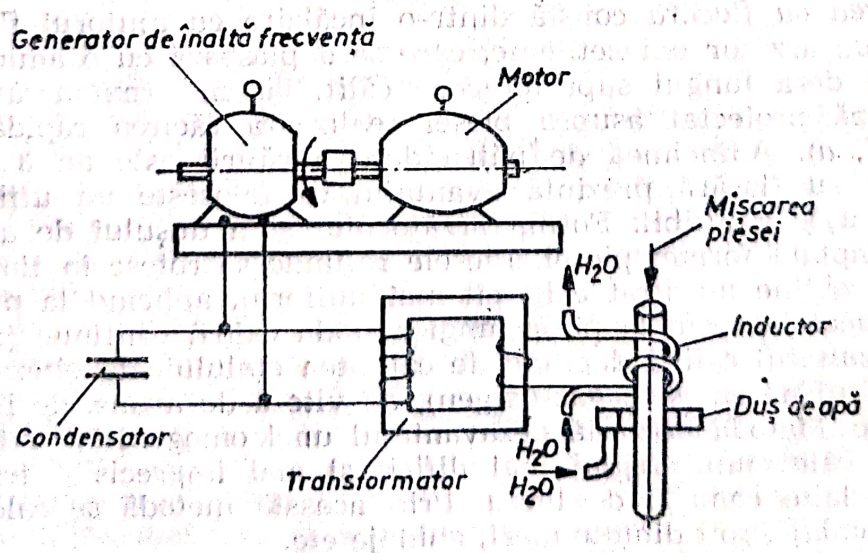


Fig. 3.78. Schema unei instalații de călire superficială prin inducție.

Scanned with OKEN Scanner

între 50.000 și 1.000.000 Hz, permit obținerea unor straturi călite pînă la maximum 3 mm adîncime.

Inductoarele sînt executate din țevi de cupru cu secțiunea de obicei dreptunghiulară, prin care circulă apă de răcire. Instalația de călire cu înaltă frecvență este compusă din generator, inductor, transformatoare, baterii de condensatoare, dispozitive de fixare și deplasare și rotire cu viteză constantă a pieselor de călit, aparatură de control și comandă automată și alte dispozitive auxiliare. Instalațiile moderne au un grad înalt de mecanizare și automatizare, prin care se asigură o calitate superioară și o uniformitate a stratului călit, pe lîngă o mărire considerabilă a productivității.

Călirea cu curenți de înaltă frecvență, utilizată azi din ce în ce mai mult, prezintă următoarele *avantaje:* adîncimea de călire poate fi reglată precis; se evită pericolul de oxidare, decarburare, supraîncălzire datorită posibilității reglării foarte precise a temperaturii și datorită rapidității încălzirii și răcirii; productivitatea metodei este foarte mare; deformarea pieselor este minimă; posibilitatea automatizării chiar complete.

Dezavantaje: reclamă un utilaj special și costisitor; este rentabil numai la producția în serie, deoarece trebuie construit un inductor corespunzător pentru fiecare tip de piesă (reper); metoda nu poate fi utilizată la piese prea voluminoase.

• *Călirea prin contact electric* realizează încălzirea superficială a piesei prin trecerea unui curent de joasă frecvență și mare intensitate, adus prin electrozi de contact (care se sprijină pe suprafața de încălzit), folosindu-se rezistența electrică locală mare din această zonă. Metoda este puțin răspîndită în practică. Adîncimea stratului călit este de 2 . . . 5 mm, constatîndu-se o trecere treptată de la zona călită la cea necălită din mijlocul piesei.

3.3.3.4. **Revenirea.** Revenirea este tratamentul termic aplicat oțelului după călire, constînd dintr-o reîncălzire la o temperatură sub domeniul de transformare, o menținere și apoi o răcire în aer sau ulei. Se

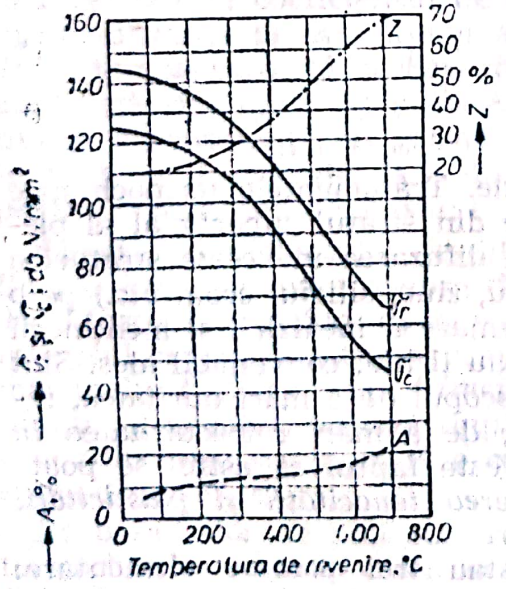


Fig. 3.79. Influența temperaturii de revenire asupra proprietăților mecanice ale unui oțel carbon călit și revenit.

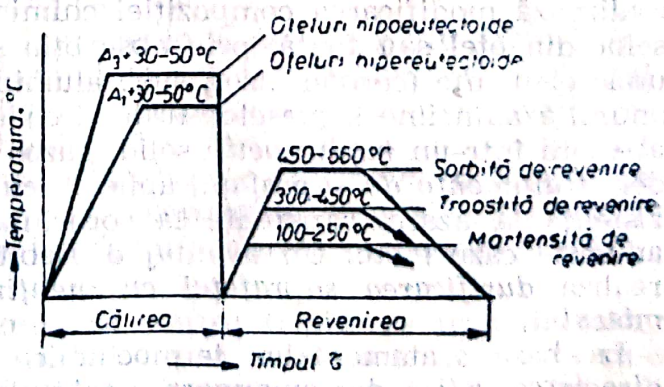


Fig. 3.80. Diagrama temperatură—timp a călirii, urmată de o revenire și structurile astfel realizabile.

urmărește: aducerea oțelului călit într-o stare mai stabilă, mărirea tenacității, eliminarea tensiunilor interne, fără însă să se piardă prea mult din duritatea realizată prin călire.

Factorul principal, care determină structura și proprietățile oțelului revenit este *temperatura de încălzire*. Cu cît *temperatura de revenire* este mai înaltă, cu atît mai mult scade duritatea, rezistența la tracțiune, limita de curgere și cresc alungirea și gîtuirea (fig. 3.79).

- *Revenirea joasă*, cu o încălzire în intervalul 100 . . . 250°C, se aplică cu scopul obținerii *martensitei de revenire*, dure și rezistente, dar mai puțin fragile decît martensita de călire (fig. 3.80). Astfel, se elimină tensiunile de călire și se stabilizează dimensiunile pieselor, crește puțin tenacitatea, micșorarea durității fiind aici foarte mică. Se aplică sculelor, pieselor cementate și călite, pieselor de frecare, la care se cere o duritate ridicată și o rezistență cît mai mare la uzare.

- *Revenirea medie*, cu o încălzire în intervalul de temperatură de 300 . . . 450°C, conduce la obținerea unei structuri troostitice sau troosto-sorbitice de revenire, în care cementita formată este foarte fin dispersată. Se utilizează mai rar, cînd se cere o tenacitate ceva mai mare și nu se admite o scădere mai pronunțată a durității.

- *Revenirea înaltă* constă din încălzirea pieselor călite la 450 . . . 650°C, obținîndu-se sorbita de revenire, care asigură o tenacitate și plasticitate ridicată, o rezilienţă bună, alături de o rezistență la rupere și o limită de curgere relativ ridicate. Tratamentul termic de călire, urmat de o revenire înaltă se numește *îmbunătățire* și asigură realizarea unei asocieri deosebit de avantajoase a proprietăților mecanice. Aici are loc o coagulare a particulelor de cementită, micșorîndu-se gradul de dispersie, sorbita obținută avînd o structură globulară, cu rezilienţă ridicată. Revenirea înaltă se aplică pieselor de mașini puternic solicitate, expuse și forțelor dinamice importante, precum și sculelor pentru prelucrare la cald.

Bainita nu se poate obține prin revenire, ci numai prin călirea izotermă corespunzătoare, după care, așa cum s-a arătat, nu mai este necesară aplicarea unei reveniri.

3.3.4. Tratamentele termochimice

3.3.4.1. **Generalități; difuziunea în metale.** Tratamentele termochimice realizează modificarea compoziției chimice din stratul superficial al pieselor din oțel sau fontă, prin absorbția și difuzarea în aceste straturi a unor elemente (carbon, azot, sulf, aluminiu, zinc, siliciu, crom etc.) pe o anumită adîncime a pieselor tratate, ca urmare a încălzirii și menținerii acestora într-un *mediu activ* solid, gazos sau lichid, convenabil ales. Sînt deci *tratamente de suprafață*, aplicate cu scopul de a mări duritatea, rezistență la uzare, rezistență la coroziune, de a mări refractaritatea în anumite cazuri etc. Un avantaj deosebit este faptul că astfel se poate realiza *durificarea suprafeței cu menținerea tenacității și plasticității miezului.*

La baza tratamentelor termochimice stau trei procese elementare: *disocierea*, adică descompunerea moleculelor mediului în care se găsește piesa și formarea atomilor activi, în stare născîndă, a elementului cu care trebuie să se îmbogățească suprafața piesei; *absorbția* atomilor activi

Scanned with OKEN Scanner

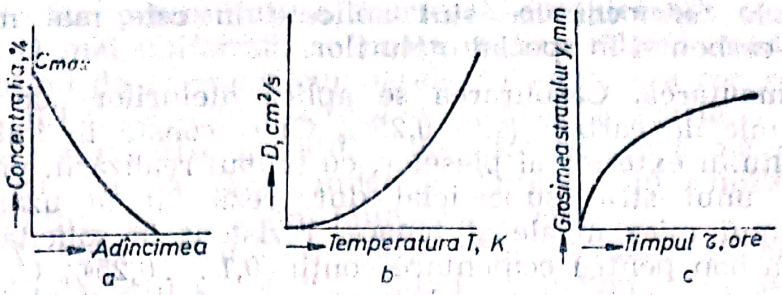


Fig. 3.81. Variația concentrației atomilor străini în stratul de difuziune (*a*). Influența temperaturii asupra coeficientului de difuziune (*b*). și grosimea stratului de difuziune în funcție de durata procesului de difuziune (*c*).

pe suprafața metalică a piesei; *difuziunea* spre interiorul acesteia a elementului absorbit, formîndu-se soluții solide sau combinații chimice, corespunzătoare diagramei respective de echilibru.

Grosimea stratului astfel modificat depinde de viteza reacțiilor de la suprafața piesei și de viteza cu care atomii elementului care difuzează se deplasează din stratul superficial spre interiorul piesi.

Difuziunea în stare solidă se bazează pe faptul că atomii metalului de bază, sau anumiți atomi străini, pot schimba poziția lor de echilibru, trecînd între nodurile rețelei cristaline și de aici spre orice nod liber al rețelei. *Concentrația atomilor străini* este cea mai mare la suprafața piesei și se micșorează spre interiorul acesteia (fig. 3.81, *a*). Datorită tendinței spontane de a se uniformiza concentrația elementului străin în întregul volum al piesei, apare *un flux de atomi străini* de la suprafață spre interior.

Cantitatea dq a materialului care difuzează este dată de expresia:

$$dq = -D \frac{dc}{dy} dS \cdot d\tau,$$

în care: D este coeficientul de difuziune; dS — elementul de suprafață; dy — distanța la care ajung atomii; dc — gradientul de concentrație; $d\tau$ — timpul care stă la dispoziție pentru difuziune. Dacă toate mărimile din urmă sînt egale cu unitatea, coeficientul de difuziune D arată cantitatea de substanță, în grame, care difuzează pe o suprafață de 1 cm², în timp de 1 secundă, la o diferență de concentrație egală cu unitatea, pentru D rezultînd dimensiunea cm²/s sau cm²/zi.

Valoarea coeficientului de difuziune depinde de mai mulți factori. Influența cea mai mare asupra difuziunii o are temperatura. Coeficientul de difuziune crescînd exponențial cu temperatura absolută, avem tot interesul ca tratamentele termochimice să se realizeze la temperaturi cît mai înalte (fig. 3.81, *b*). *Adîncimea stratului de difuziune*, în funcție de durata procesului, variază după o lege parabolică: $y^2 = K \cdot \tau$, în care y este adîncimea stratului, K o constantă, iar τ durata procesului de difuziune (fig. 3.81, *c*).

Pe baza celor de mai sus, rezultă că pentru realizarea tratamentelor termochimice cu randament maxim, trebuie să avem: o temperatură suficient de ridicată; o concentrație cît mai mare a elementului la suprafața materialului; o durată destul de mare pentru a realiza adîncimile dorite de pătrundere (grosimea stratului).

Scanned with OKEN Scanner

Tratamentele termochimice sînt aplicate în cele mai multe cazuri aliajelor fier-carbon și în special oțelurilor.

3.3.4.2. **Cementarea.** Carburarea se aplică oțelurilor „de cementare", cu conținut mic de carbon (sub 0,25% C) și constă în îmbogățirea cu carbon a stratului exterior al pieselor, cu scopul realizării, printr-o călire ulterioară, a unui strat superficial dur, rezistent la uzare, pe lîngă menținerea unui miez moale și tenace, rezistent la solicitări dinamice.

Oțelurile carbon pentru cementare conțin 0,1 ... 0,25% C, iar oțelurile aliate pentru cementare conțin elemente care favorizează procesul: Cr, Ni, Mn, Mo. *Mediul* capabil să cedeze carbon activ, *numit mediu carburant*, poate fi solid, lichid sau gazos. Cementarea fiind întotdeauna urmată de călire, în final, stratul superficial capătă o structură martensitică, cu o duritate mare (peste 60 HRC). În zona de trecere oțelul va avea o structură de martensită și ferită.

• *Cementarea în mediu solid* se realizează în cutii de cementare, în care piesele sînt împachetate într-un mediu format din cărbune de lemn și substanțe care activează procesul, cum sînt carbonatul de bariu, carbonatul de sodiu etc. (de exemplu 40% CO_3Ba+60% praf de mangal). Temperatura cementării este între 750 ... 950°C.

Mediul carburant se poate folosi de mai multe ori, dar de fiecare dată se adaugă 15 ... 30% amestec proaspăt. Suprafețele piesei, care nu trebuie cementate, se protejează cu argilă refractară, sau se cuprează (fig. 3.82). Adîncimea stratului cementat crește cu temperatura și cu timpul de menținere, în 6 ... 10 ore realizîndu-se o grosime a stratului de 0,6 ... 3,0 mm. În cutiile de cementare se așază și *piese martore* din același oțel, care după cementare vor fi rupte, iar casura se tratează cu o soluție de iod, măsurînd apoi grosimea stratului cementat care s-a colorat prin atacul cu soluția de iod. Astfel se poate aprecia și la piesele tratate grosimea stratului cementat, fără să fie nevoie de ruperea acestora.

• *Cementarea în medii lichide* se utilizează foarte rar, folosindu-se băi de săruri topite cu circa 80% carbonat de sodiu.

• *Cementarea în mediu gazos* este un procedeu modern și tinde să înlocuiască cementarea în mediu solid sau lichid, datorită numeroaselor

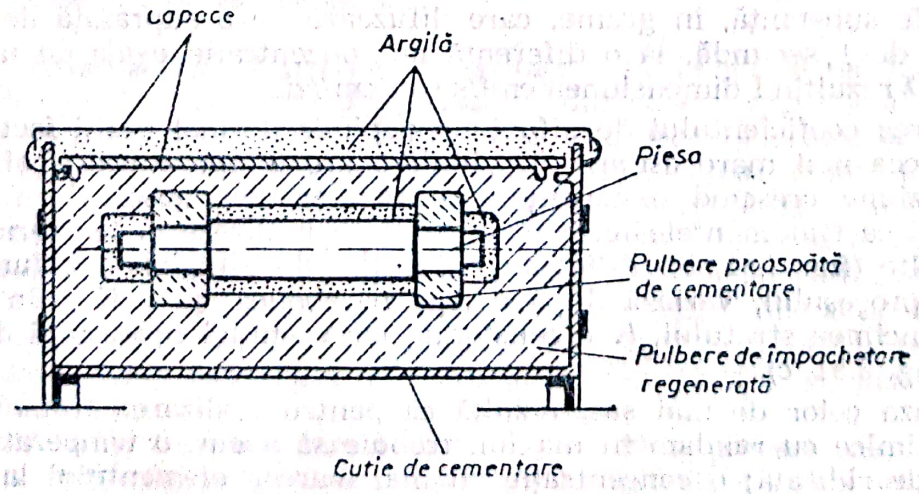


Fig. 3.82. Împachetarea unei piese pentru cementarea, în mediu solid, numai a anumitor suprafețe.

avantaje: durata procesului se scurtează considerabil; cementarea este mai adîncă și mai uniformă; se poate realiza călirea imediat după carburare, folosind de exemplu cuptoarele cu atmosferă controlată, descrise în capitolul 6.4.3; se reduce costul ca urmare a scurtării duratei tratamentului și a eliminării operațiilor de împachetare a pieselor; suprafața produselor este curată, fără țunder și aderențe din amestecul de împachetare; condițiile de lucru sînt mult mai ușoare.

Carbonul în stare născîndă se obține prin disocierea gazelor din atmosfera cuptorului (acetilenă, gaz de iluminat, metan, oxid de carbon, gaze de la cracarea petrolului etc.). Deoarece la cementarea în gaz metan degajarea carbonului ar fi prea intensă, depunîndu-se pe piesă sub formă de negru de fum, strat care îngreunează apoi contactul dintre piesă și faza gazoasă activă, gazul metan se va folosi diluat, fie cu propriile sale produse de ardere, fie cu alte gaze mai puțin bogate în carbon.

3.3.4.3. **Nitrurarea.** Nitrurarea se aplică oțelurilor și fontelor cu scopul de a introduce azot în stratul superficial prin încălzirea și menținerea acestora la o temperatură inferioară domeniului de transformare A_1 într-un mediu capabil să pună în libertate azot activ. Stratul obținut, cu nitruri de fier, are o duritate ridicată, o rezistență foarte bună la uzare și la oboseală și totodată, o bună rezistență la coroziune.

Cel mai frecvent se folosește *nitrurarea în mediu gazos,* în cuptorul cu atmosferă controlată sau în cutia de nitrurare introducîndu-se amoniac, care prin disociere va da azotul activ. Azotul, care difuzează în stratul produsului, reacționează cu fierul, formînd nitruri foarte dure. Stratul nitrurat este foarte subțire, de numai cîteva zecimi de mm. Duritatea stratului ajunge la 1000 HV, fiind cea mai mare duritate ce se poate obține printr-un tratament termic sau termochimic.

Se recomandă următoarea succesiune a operațiilor tehnologice: prelucrarea mecanică, a pieselor prin așchiere; tratamentul termic pentru miez și suprafață (călire, urmată de revenire înaltă); finisarea pieselor prin rectificare; nitrurarea timp de 20 . . . 60 ore la 500 . . . 550°C; rectificarea finală, îndepărtînd un strat foarte subțire. Nitrurarea este precedată, dar nu urmată de un alt tratament termic. După nitrurare nu este nevoie de călire și revenire.

Rezultatele cele mai bune se obțin la oțelurile aliate cu Al, Cr, V, sau Mo, unde se formează *nitruri foarte stabile ale elementelor de aliere,* care asigură un grad de dispersie ridicat și o duritate mare.

Mai nou se folosește pe o scară din ce în ce mai mare *nitrurarea ionică* (cu plasmă), unde piesele sînt așezate într-un vas metalic ermetic închis, umplut cu un amestec de azot și hidrogen la o presiune scăzută (1 . . . 10 mm col Hg) și într-un cîmp electric de înaltă tensiune se bombardează suprafețele lor cu ioni de azot. Această nouă metodă prezintă numeroase avantaje și consumă mult mai puțină energie ca nitrurarea clasică.

3.3.4.4. **Carbonitrurarea și cianurarea,** Prin acest procedeu stratul superficial al oțelului este îmbogățit concomitent cu carbon și azot, datorită încălzirii și menținerii acestuia deasupra punctului A_3 într-un mediu solid, lichid sau gazos, care să cedeze simultan carbon și azot activ. După cianurare piesele se călesc în apă. Se realizează astfel un strat superficial foarte dur și rezistent la uzare, menținîndu-se tenacitatea miezului. Cele mai bune rezultate se obțin la cianurarea oțelurilor crom și crom-nichel.

Scanned with OKEN Scanner

• *Cianurarea în mediu solid* este utilizată foarte rar (amestecul de împachetare este pe bază de ferocianură de potasiu și mangal).

• *Cianurarea lichidă* are loc în băi de săruri topite care conțin în soluție 15 . . . 35% cianuri (cianură de sodiu — NaCN; cianură de potasiu — KCN; cianură de calciu — $Ca(CN)_2$; ferocianură de potasiu — $K_4Fe(CN)_6$) și 65 . . . 85% cloruri sau carbonați.

Se utilizează *cianurarea înaltă*, la 850 . . . 1000°C, în cazul oțelurilor de construcție și *cianurarea joasă*, la 550 . . . 600°C, în cazul sculelor executate din oțel rapid. Avantajele cianurării lichide față de cementare sînt: o durată mult mai mică (circa 20 min); nu este nevoie de împachetare și suprafața rămîne foarte curată; piesele pot fi călite direct la scoaterea lor din baie. Dezavantajele constau în faptul că cianurile sînt săruri foarte otrăvitoare, volatile și scumpe (muncitorii să nu mănînce decît cu mîinile bine spălate și instalațiile trebuie prevăzute cu dispozitive de ventilație foarte bune pentru aspirarea vaporilor toxici).

• *Cianurarea gazoasă sau carbonitrurarea* este realizată într-un mediu compus din 70 . . . 75% gaz metan sau alte gaze de cementare și 25 . . . 30% amoniac. *Carbonitrurarea joasă*, la 500 . . . 600°C, se utilizează pentru durificarea suplimentară a sculelor din oțel rapid (durata 0,5 . . . 3 ore), realizîndu-se o duritate de 905 . . . 1000 HV, iar *carbonitrurarea înaltă*, la 800 . . . 850°C, se execută, cînd este necesar să predomine cementarea la diferite organe de mașini: roți dințate, arbori, tacheți etc. (durata procesului fiind de 1 . . . 3 ore).

Carbonitrurarea este un procedeu modern și foarte avantajos. Poate fi aplicat la orice oțel (nu ca nitrurarea), nu necesită săruri scumpe și otrăvitoare și are o productivitate ridicată, mai ales dacă se execută în cuptoarele moderne cu atmosferă controlată.

3.3.4.5. **Aluminierea.** Aluminierea este îmbogățirea oțelului sau fontei cu aluminiu cu scopul de a mări rezistența la oxidare la temperaturi înalte. În exploatare, la suprafața piesei, se formează o peliculă protectoare de Al_2O_3 care împiedică oxidarea în adîncime. Aluminierea se aplică pieselor din oțel carbon obișnuit care lucrează la temperaturi ridicate: cutii pentru cementare sau nitrurare, creuzete pentru cianurare, grătare pentru cazane, piese metalice pentru cuptoare și agregate termice etc.

Ca mediu activ se pot folosi amestecuri de pulberi, strat de aluminiu depus prin pulverizare, sau imersia în aluminiu topit. Mediul solid de alitare conține circa 50% pulbere de aluminiu, aproape 50% pulbere de argilă sau oxid de aluminiu și 2% clorură de amoniu — NH_4Cl, pentru formarea clorurii de aluminiu volatile și foarte active. La temperatura de circa 900 . . . 1000°C, în 6 . . . 15 ore, se obține un strat de 0,3 . . . 1 mm grosime.

3.3.4.6. **Silicierea.** Prin siliciere, în stratul superficial al pieselor din oțel și fontă, se introduce siliciu pînă la 12 . . . 15%. Are ca scop mărirea rezistenței oțelului la formare de arsură la temperaturi ridicate și mărirea rezistenței la coroziune în apa marină și în acizii azotic, clorhidric, sulfuric etc.

Silicierea se poate executa: în mediu solid; în baie topită prin electrosiliciere; în mediu gazos.

Scanned with OKEN Scanner

În construcția de cuptoare electrice pentru temperaturi ridicate este importantă *silicierea molibdenului,* cînd se formează $MoSi_2$ și elementele de încălzire astfel tratate vor putea lucra pînă la temperatura de 1700°C și în aer sau medii oxidante. Elementele de încălzire de Mo nesiliciate corespund tot pînă la 1700°C, dar numai în cuptoare cu atmosferă protectoare de hidrogen. În aer, molibdenul, la temperaturi ridicate, se transformă într-un fum galben, de trioxid de molibden, elementul de încălzire nesiliciat distrugîndu-se imediat.

3.3.4.7. **Alte metode de metalizări prin difuziune.** *Cromizarea* introduce *crom* în stratul superficial al pieselor din oțel și fontă cu scopul de a mări rezistența la coroziune și oxidare la temperaturi ridicate, precum și rezistența la uzare.

Sherardizarea introduce *zinc* în straturile superficiale ale pieselor din oțel și fontă, ameliorînd proprietățile anticorosive ale produselor. Stratul astfel obținut este însă poros și mai puțin rezistent la coroziune decît straturile protectoare realizate prin zincare pe cale electrolitică (galvanizare) sau prin cufundare în băi de zinc topit.

Sulfurarea este îmbogățirea stratului superficial al pieselor din oțel cu *sulf,* prin care se urmărește creșterea rezistenței la uzare și gripare.

Sulfocianurarea este tratamentul termochimic de introducere simultană a *sulfului,* a *azotului* și a *carbonului* în stratul superficial al pieselor din oțel, de obicei în băi de săruri topite, în scopul ameliorării rezistenței la uzare și gripare.

3.4. OȚELURILE ALIATE

3.4.1. Generalități și clasificarea oțelurilor aliate

Oțelurile aliate conțin, pe lîngă elementele obișnuite, și elemente de aliere speciale, adăugate în mod voit, pentru a produce modificări sensibile a unuia sau mai multor proprietăți ale oțelurilor. Tot din categoria oțelurilor aliate fac parte și oțelurile ale căror conținut de mangan și de siliciu este mai mare decît cel rezultat din elaborare. Elementele de aliere pot fi unul sau mai multe: Ni, Cr, W. Mo, V, Co, Ti, Al etc.

Datorită unei elaborări mult mai îngrijite și a costului ridicat al majorității elementelor de aliere, oțelurile aliate sînt mai scumpe decît oțelurile carbon, deci folosirea lor este rațională numai în cazurile în care sînt strict necesare.

Variația proprietăților oțelului prin aliere este determinată de natura și cantitatea elementelor de aliere și raportul lor față de principalele elemente ale oțelului.

Ținînd seama de modul în care se găsesc în oțel, elementele de aliere se împart în două grupe:

a — elemente care nu formează carburi: Ni, Co, Si, Al, Cu etc. și care se găsesc în oțel sub formă de soluții solide;

b — elemente care se combină cu carbonul, formînd carburi în oțelurile aliate: Mn, Cr, W, V, Mo, Ti, Zr, Nb, Ta etc.

În cazul elementelor care formează carburi, la un conținut suficient de mare de carbon al oțelului, acestea se vor găsi în oțel sub formă de

Scanned with OKEN Scanner

carburi. Dacă însă oțelul conține cantități mari din aceste elemente de aliere, avînd totodată și un conținut mic de carbon, excesul de elemente de aliere, care nu mai poate forma carburi, se va găsi sub formă de soluție solidă. La oțelurile polinare, cînd sînt adăugate mai multe elemente de aliere care formează carburi, factorul principal care determină distribuirea acestor elemente printre diferitele faze din structură, va fi afinitatea chimică a lor față de carbon. Din acest punct de vedere, elementele de aliere, care formează carburi, pot fi aranjate în următoarea serie: Fe, Mn, Cr, W, Mo, V, Zr, Nb, Ti și Ta, în care elementele de la începutul seriei formează carburi mai puțin stabile și care la încălzire se dizolvă ușor. Modul cum influențează carburile proprietățile de rezistență ale oțelului, depinde în mare parte și de gradul de dispersie ale acestora care se poate condiționa prin tratamentele termice aplicate oțelurilor.

Elementele de aliere *influențează* într-o largă măsură și *transformările alotropice ale fierului,* modificînd poziția punctelor critice A_{c1}, A_{c3} și A_{c4}. O serie de elemente (Cr, Mo, W, Si, Ti, Al) ridică punctele A_{c3} și A_{c1} și coboară pe A_{c4}, micșorînd domeniul fazei γ, deci a austenitei.

În cantitate ridicată, aceste elemente de aliere pot îngusta domeniul austenitei chiar pînă la zero, dînd oțeluri feritice. Alte elemente de aliere (Ni, Mn, Co, Cu, N), extind domeniul fazei γ prin coborîrea punctelor de transformare A_{c3} și A_{c1} și ridicarea lui A_{c4}. În cantitate ridicată aceste elemente de aliere măresc domeniul fazei γ chiar pînă la temperatura ambiantă, cînd oțelul este austenitic la orice temperatură.

Majoritatea elementelor de aliere deplasează în diagrama Fe—C punctul eutectoid S și cel de saturație cu carbon a austenitei E, spre stînga. De aceea, este posibil ca în oțelurile aliate să apară eutecticul (ledeburita) care, după cum se știe, este un constituent caracteristic fontelor. În aceste condiții perlita va putea să aibă un conținut mult mai mic de carbon decît 0,77%.

Toate elementele de aliere măresc duritatea feritei și, în general, micșorează tenacitatea și reziliența acesteia.

Elementele de aliere, cu excepția Mn, micșorează tendința de creștere a cristalelor la supraîncălzire, ceea ce constituie un mare avantaj la tratamentele termice. De asemenea, toate elementele de aliere (cu excepția cobaltului) măresc stabilitatea austenitei suprarăcite și micșorează viteza de transformare a acesteia în structuri perlitice sau bainitice. Curbele din diagramele *TTT* vor fi deci deplasate spre dreapta. Totodată elementele de aliere micșorează viteza critică de călire și măresc în consecință călibilitatea. Astfel, în comparație cu oțelurile carbon, la oțelurile aliate este necesară folosirea mediilor mai puțin energice la călirea pieselor de secțiuni egale, prin care se poate micșora considerabil valoarea tensiunilor interne remanente de călire și evita deformarea pieselor călite. Pentru viteze de călire egale, se obține o structură martensitică mult mai adîncă, sau pot fi călite pînă în miez și piese mai groase.

De asemenea, elementele de aliere influențează și transformările ce au loc la revenirea oțelului călit. Astfel, cromul adăugat în cantitate relativ mică (2 ... 3%), împiedicînd separarea și aglomerarea carburilor, cauzează o micșorare mai puțin intensă a durității cu temperatura de revenire. Unele oțeluri aliate, în special cele Cr—Ni, pot prezenta o anumită fragilitate ce se manifestă printr-o scădere pronunțată a rezilienței după revenire. Această *fragilitate de revenire* se poate evita printr-o

Scanned with OKEN Scanner

răcire rapidă (în apă sau ulei) sau prin alierea acestor oțeluri cu 0,2 . . . 0,4% Mo sau W; manganul, din contră, mărește această fragilitate.

În construcția de mașini, prin folosirea oțelurilor aliate, se poate micșora considerabil greutatea pieselor de mașini, păstrîndu-se însă rezistența lor, datorită proprietăților mecanice superioare ale acestor materiale.

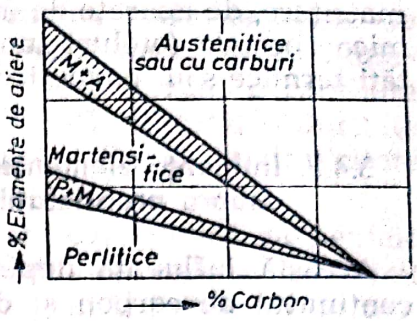


Fig. 3.83. Forma diagramelor Guillet.

Clasificarea oțelurilor aliate. Oțelurile aliate se pot clasifica după mai multe criterii:

a — după structura obținută la răcire în aer. În funcție de cantitatea elementelor de aliere, se pot obține oțeluri cu structură perlitică, martensitică, austenitică cu carburi și feritică. Împărțirea în aceste clase a fost făcută de către L. Guillet pe baza unor diagrame construite pentru fiecare oțel aliat ternar, care dau, cu o oarecare aproximație, structura obținută la răcire în aer, în funcție de conținutul în carbon și de elementul de aliere (fig. 3.83).

• *Oțelurile perlitice* sînt oțelurile cu un conținut mic de elemente de aliere, la care, prin răcire în aer, se obține constituientul de echilibru, perlita sau sorbita. Sînt cele mai utilizate oțeluri în construcția de mașini.

• *Oțelurile martensitice* conțin elemente de aliere în cantitate mai ridicată. Prin răcire în aer se călesc (oțeluri autocălibile), obținînd o structură martensitică sau troostitică. Sînt oțeluri dure și casante, puțin întrebuințate.

• *Oțelurile austenitice* au o structură austenitică, datorită faptului că punctul M_s este situat sub 0°C. Sînt oțeluri bogat aliate, de cele mai multe ori cu proprietăți fizice și chimice speciale, aliate cu elemente care lărgesc domeniul γ (Mn, Mg). Oțelurile austenitice se întrebuințează ca oțeluri rezistente la uzare și ca oțeluri inoxidabile și rezistente la coroziune.

• *Oțelurile cu carburi* au structura compusă dintr-o masă de bază feritică, austenitică sau martensitică, în care sînt înglobate carburile. Se obțin la conținuturi ridicate în carbon și în elemente de aliere care formează carburi. Sînt oțeluri dure, greu de prelucrat, utilizate, în special, ca oțeluri de scule.

b — după numărul de elemente de aliere avem: oțeluri ternare, pe lîngă carbon cu un singur element de aliere (Cr, Ni, Mn, Si etc); oțeluri cuaternare, cu două elemente de aliere (de exemplu oțelurile Cr—Ni) și oțeluri polinare, cu mai multe elemente de aliere (de exemplu: Cr—Ni—Mo).

c — după cantitatea elementelor de aliere avem: oțeluri *slab aliate*, care conțin sub 5% elemente de aliere; oțeluri *mediu aliate* cu 5 . . . 10% elemente de aliere și oțeluri *bogat aliate* care au peste 10% elemente de aliere.

d — după utilizare (destinație), oțelurile aliate se clasifică în: oțeluri de construcție, folosite foarte mult în construcția de mașini și utilaje, care la rîndul lor se împart în: oțeluri pentru cementare (0 . . . 0,2% C) și de îmbunătățire (0,2 . . . 0,4% C); oțeluri pentru scule (de așchiere, de

matrițare, de aparate de măsurare etc.); oțeluri cu proprietăți fizice și chimice speciale (oțeluri inoxidabile, oțeluri refractare, oțeluri cu proprietăți termice sau magnetice speciale etc.).

3.4.2. Influența elementelor de aliere asupra proprietăților oțelurilor

Această influență depinde de concentrația elementului de aliere, de conținutul de carbon și de existența în compoziție a altor elemente de aliere. Prezentăm, foarte sumar, unele proprietăți obținute prin folosirea celor mai răspîndite elemente de aliere; menționăm însă că aceste proprietăți se obțin numai pentru anumite concentrații ale elementelor de aliere.

Nichelul mărește călibilitatea oțelului, favorizează obținerea unei structuri fine, mărește rezistența la tracțiune și limita de elasticitate, fără să micșoreze alungirea și reziliența; mărește rezistența la coroziune și refractaritatea; conservă excelente proprietăți mecanice la temperaturi joase (pînă la —200°C). Oțelurile cu nichel au o bună turnabilitate și se pot prelucra bine prin deformare plastică la cald.

Manganul mărește călibilitatea, duritatea și rezistența la rupere; asigură o rezistență mare la uzare prin frecare și uzare abrazivă; slăbește proprietățile magnetice pînă la anularea magnetismului și mărește rezistivitatea.

Cromul mărește rezistența, duritatea și rezistența la uzare, asigură rezistență la oxidare, coroziune și stabilitate la temperaturi înalte; mărește și rezistența electrică a oțelurilor (aliaje pentru rezistențe pe bază de fier și crom) și forța coercitivă (materiale pentru magneți permanenți pe bază de fier și crom).

Wolframul îmbunătățește proprietățile mecanice (duritatea la rece și la temperaturi ridicate, rezistența la rupere); asigură o bună refractaritate și o rezistență la uzare abrazivă.

Molibdenul mărește rezistența la coroziune; asigură proprietăți mecanice foarte bune, o bună rezistență la oboseală și o stabilitate la temperaturi înalte; micșorează fragilitatea la revenire.

Siliciul asigură caracteristici mecanice ridicate și rezistență mare la uzare; ridică mult limita de elasticitate (oțeluri pentru arcuri); permite obținerea unor proprietăți magnetice speciale, pe lîngă o rezistivitate electrică mare (pe această bază oțelurile cu mult siliciu și cu conținut redus de carbon asigură pierderi mici prin histerezis și curenți turbionari, fiind larg folosite sub formă de tablă silicioasă la fabricarea transformatoarelor, a mașinilor electrice); mărește rezistența la coroziune; favorizează grafitizarea, permițînd obținerea grafitului și în structura unor oțeluri.

Vanadiul chiar la un conținut de sub 1% mărește duritatea, rezistența la rupere, reziliența, rezistența la uzare, la oboseală și la coroziune.

3.4.3. Oțeluri aliate de construcție

Sînt oțeluri în general slab aliate ce fac parte, cu excepția oțelurilor manganoase, din clasa de oțeluri perlitice. Ele se folosesc, de obicei, în stare de revenire înaltă, deoarece pe calea alierii se obține o mărire a călibilității și o frînare a coagulării carburilor la revenire.

Scanned with OKEN Scanner

În comparație cu oțelurile carbon de construcție, oțelurile aliate de construcție prezintă o structură mai fină, sînt mai tenace, au o călibilitate superioară, putîndu-se căli, în general, în ulei, conțin o cantitate mai mare de carburi și au o rezistență și rezilință ridicată, o duritate mare și o rezistență bună la uzare, au, în general, o limită de elasticitate ridicată și o bună rezistență la oboseală.

Simbolizarea oțelurilor aliate se face prin litere care indică elementele de aliere, precedate de cifre care arată conținutul de carbon în sutimi de procente. Cifrele de la sfîrșitul simbolului exprimă, în zecimi de procente, conținutul mediu al elementului principal de aliere (ultima literă din simbol). În cazul în care oțelul aliat este destinat folosirii în stare turnată, se adaugă la început litera T. Exemple: oțelul 13CrNi30 (STAS 791—80) are un conținut mediu de 0,13% C și de 3% Ni; oțelul 34MoCrNi15 are în medie 0,34% C și 1,5% Ni; oțelul T30MoCrNi14 (STAS-1773—76 pentru oțelurile turnate în piese) are un conținut mediu de 0,30% C și de 1,4% Ni. Denumirea oțelurilor aliate derivă de la elementele de aliere conținute. Astfel se va spune: oțel crom, oțel crom-nichel, oțel crom-nichel-molibden etc.

Majoritatea oțelurilor aliate de construcții sînt polinare. De exemplu: oțeluri Cr-Ni-Mo, folosite la fabricarea pieselor mari și importante, puternic solicitate; oțeluri Cr-Mn-Si (cromansil) prezintă proprietăți mecanice foarte bune și un cost mai redus, datorită conținutului de elemente nedeficitare etc. Limitele între care variază proprietățile mecanice ale unor grupe de oțeluri aliate, standardizate la noi în țară, sînt prezentate în tabelul 3.8.

3.4.4. Oțeluri aliate pentru scule

Sînt oțeluri aliate de calitate superioară, elaborate îngrijit, în vederea întrebuințării lor la confecționarea sculelor de diferite tipuri. Alierea acestor oțeluri este complexă și se face cu o serie de elemente în care predomină Cr, W, Mo, V.

Simbolizarea acestor oțeluri standardizate se face cu ajutorul unor litere marcînd elementele de aliere, urmate de cifre care indică conținutul în zecimi de procente al elementului principal de aliere trecut în simbol ultimul. Ca exemplu oțelul MoWC 53 (STAS 3611—80) este un oțel Cr-W-Mo de scule pentru deformare la cald, cu un conținut mediu de 5,3% Cr, care este elementul principal de aliere. Excepție fac oțelurile rapide, care se notează cu simbolul Rp, urmat de numărul convențional de ordine al mărcii (de exemplu: Rp1, Rp3).

Oțelurile aliate pentru scule se împart în: oțeluri pentru scule aşchietoare și aparate de măsurat (cu subgrupele slab, respectiv bogat aliate) și în oțeluri pentru scule de deformare și scule pneumatice, cu următoarele subgrupe: pentru scule de deformare la rece; pentru scule de deformare la cald; pentru scule pneumatice; pentru formele metalice de turnare sub

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.8

Proprietăţile mecanice ale unor oţeluri aliate standardizate

Denumirea grupei de oţeluri, numărul standardului şi starea oţelului	Numărul mărcilor standardizate	Rezistenţa la tracţiune R_m [N/mm²]	Limita de curgere $R_{0,2}$ [N/mm²]	Alungirea la rupere A [%]	Reziliența KCU [J/cm²]	Duritatea Brinell HB
Oţeluri aliate pentru construcţii de maşini, STAS 791-80 Oţeluri de cementare după călire şi revenire joasă	20	690... ...1720	410... ...1080	11...8	98...59	Stare recoaptă, 174...229
Oţeluri de îmbunătăţire după călire şi revenire înaltă		740... ...1420	510... ...1030	14...9	69...39	Stare recoaptă, 207...248
Oţeluri slab aliate şi aliate, turnate în piese, STAS 1773-76, după călire şi revenire înaltă	14	540... ...1120	345... ...780	14...8	49...29	174...289
Oţeluri pentru arcuri STAS, 795-80, după călire şi revenire	8	980... ...1470	780... ...1270	10...6	—	229...255
Oţel austenitic manganos rezistent la uzare, turnat în piese, STAS 3718-76, după călire în apă	10	780... ...980	245... ...390	55...40	30...20	180...220
Oţeluri pentru rulmenţi, STAS 1456/1-80, în stare recoaptă	2	—	—	—	—	207...217
Oţeluri rezistente la coroziune şi refractare, STAS 3583-80, după călire, cu sau fără revenire	9	390... ...650	200... ...440	45...16	90...29	Stare recoaptă, 121...229
Oţeluri aliate refractare şi anticorosive, turnate în piese, STAS 6855-78, după călire, cu sau fără revenire	28	390... ...640	195... ...440	20...2	90...59	140...300
Oţeluri aliate pentru scule, STAS 3611-80, în stare recoaptă	14	—	—	—	—	Stare recoaptă, 230...260
Oţeluri rapide pentru scule, STAS 7382-80, în stare recoaptă	6	—	—	—	—	Stare recoaptă, 220...300

Scanned with OKEN Scanner

presiune a metalelor. În standardele acestor oțeluri sînt indicate pentru fiecare marcă de oțel: domeniul temperaturilor pentru deformarea plastică la cald, condițiile tratamentelor termice recomandate, precum și caracteristicile obținute. De asemenea sînt date, pentru fiecare marcă standardizată, indicații privind domeniile de utilizare și exemple concrete de aplicare.

Oțelurile rapide (STAS 7382—80) sînt oțeluri bogat aliate în special cu W (pînă la 18% W), în compoziția lor intrînd însă și Cr (circa 4%), V și uneori Mo sau Co. În structura lor se găsesc pînă la 30 ... 35% carburi duble de W și Fe, carburi de Cr și carburi de V.

Marea calitate a oțelurilor rapide constă în faptul că permit folosirea unor viteze foarte mari de așchiere a metalelor, datorită stabilității lor termice superioare. În timp ce duritatea oțelurilor carbon și slab aliate de scule începe să scadă repede dacă în timpul așchierii se încălzesc peste 200 ... 220°C, oțelurile rapide își păstrează duritatea pînă la 550 ... 600°C, menținînd-o chiar la încălziri de foarte lungă durată.

Pentru a realiza aceste proprietăți deosebite, oțelurile rapide după forjare și o recoacere de omogenizare-înmuiere, sînt călite de la o temperatură deosebit de ridicată, de 1250 ... 1300°C, după care urmează mai multe reveniri înalte succesive, la temperaturi de circa 560°C, duritatea ajungînd astfel la 62 ... 66 HRC.

3.4.5. Oțeluri aliate cu proprietăți fizice și chimice speciale

• *Oțelurile inoxidabile.* În funcție de agresivitatea mediului, se folosesc oțeluri inoxidabile cu Cr sau cu Cr și Ni. Elementul principal de aliere este cromul și are o influență corespunzătoare numai la conținuturi de peste 12%. Nichelul introdus în oțelurile cu Cr, le conferă acestora o structură austenitică la orice temperatură. Cele mai răspîndite sînt oțelurile cu 18% Cr și 8% Ni (oțelul inoxidabil 18/8).

• *Oțelurile refractare* sînt oțeluri bogat aliate, care prezintă atît stabilitate chimică ridicată, cît și rezistență mecanică bună la temperaturi înalte. Oțelurile refractare feritice sau perlitice care conțin 8 ... 12% Cr și 2 ... 4,5% Si se folosesc pentru organe de mașini ce lucrează la temperaturi maxime de 350 ... 500°C: turbine, cazane etc. Oțelurile refractare austenitice, foarte bogat aliate, cu maxim 30% Cr, 21% Ni, 3% Si, cu adaosuri de Ti, Mo, Co și cu puțin carbon, se folosesc la executarea organelor puternic solicitate termic la temperaturi de 500 ... 650°C: motoare cu reacție, rachete etc.

• *Aliaje cu proprietăți termice speciale.* Acestea sînt următoarele:

— *aliajul invar* (36% Ni, sub 0,25% C și restul fier) are cel mai mic coeficient de dilatare liniară pînă la 100°C. Este folosit la fabricarea de

Scanned with OKEN Scanner

instrumente, de aparate de măsură, etaloane și alte piese din industria ceasornicelor etc.;

— *aliajul platinit* (48% Ni, 0,3% C și restul fier) are același coeficient de dilatare termică ca și sticla și platina. Se folosește ca înlocuitor al platinei la executarea electrozilor sudați în pereții de sticlă ai lămpilor incandescente și ai tuburilor electronice;

— *aliajul elinvar* (36% Ni, 12% Cr și restul fier) are un modul de elasticitate care nu se modifică cu temperatura pînă la 100°C și este folosit la arcuri de precizie.

II.

TEHNOLOGII DE PRELUCRARE A METALELOR ȘI ALIAJELOR, PRECUM ȘI A MATERIALELOR NEMETALICE UTILIZATE ÎN INDUSTRIA CONSTRUCTOARE DE MAȘINI, ELECTRONICĂ, ELECTROTEHNICĂ, AUTOMATICĂ ȘI ENERGETICĂ

4

PRELUCRĂRI DIMENSIONALE CU SCHIMBAREA STĂRII FIZICE A MATERIALELOR. EXECUTAREA PIESELOR PRIN TURNARE

4.1. TURNAREA PIESELOR METALICE ÎN FORME TEMPORARE DE AMESTEC

4.1.1. Probleme generale ale procesului tehnologic de turnare

Obținerea de obiecte metalice prin turnare a constituit o îndeletnicire foarte veche a omului. În epoca modernă, dezvoltarea impetuoasă a industriei necesită o mărire considerabilă a producției pieselor turnate și în primul rînd o îmbunătățire a calității lor.

Aproape că nu există ramură industrială care să nu folosească piese turnate. În construcția de mașini și utilaje, greutatea pieselor turnate reprezintă aproximativ 60 ... 90% din greutatea totală a produselor finite. Aceasta înseamnă că circa 25% din valoarea totală a mașinilor fabricate este reprezentată de piesele turnate.

Larga folosire a pieselor turnate se datorește avantajelor acestui procedeu. Prin turnare se pot obține piese cu o configurație foarte complicată, avînd greutatea de la cîteva grame pînă la sute de tone. Multe piese se obțin cu o precizie atît de mare, încît nu mai este nevoie de o prelucrare ulterioară și, ca urmare, se realizează economii însemnate. De asemenea, o mare parte din metalele și aliajele utilizate în construcția de mașini nu pot fi utilizate decît în stare turnată, deoarece ele nu pot fi prelucrate prin deformare plastică (exemplu: fontele cenușii, fonta maleabilă, alamele cu procent ridicat de zinc, bronzurile cu procent ridicat de staniu, unele aliaje de aluminiu etc.). Un alt avantaj poate fi considerat și faptul că permite folosirea imediată a deșeurilor de metal prin retopire și turnarea altor piese.

În majoritatea cazurilor, turnarea este un procedeu mai ieftin și mai productiv, în comparație cu celelalte procedee tehnologice de fabricare a pieselor.

Operațiile principale legate de executarea pieselor turnate sînt: executarea formelor și miezurilor, elaborarea metalelor sau aliajelor în stare lichidă, turnarea metalului pentru umplerea cavității formei, solidificarea pieselor în formă, curățirea pieselor turnate, tratamentul termic în unele cazuri și, în final, controlul și recepția pieselor turnate.

Forma de turnare este un ansamblu nemetalic sau metalic, ce cuprinde *cavitatea,* care prin umplere cu metal lichid, după solidificare va da piesa turnată. Dacă piesa trebuie să aibă și goluri interioare, în formă se așază miezuri pentru determinarea acestora, miezuri care sînt montate și fixate cu ajutorul unor prelungiri, cunoscute sub denumirea de *mărci.* După durata de utilizare, formele de turnătorii se clasifică în:

— *forme temporare,* folosite la o singură turnare;

— *forme semipermanente* care servesc la un număr limitat de turnări, fiind reparate după fiecare turnare;

— *forme permanente* care pot fi utilizate pentru un număr foarte mare de turnări.

Alegerea procesului tehnologic optim de turnare este condiționată de următoarele elemente importante:

— obținerea unor piese de bună calitate, compacte, sănătoase, cu proprietăți fizice, mecanice și chimice superioare;

— să asigure lăsarea unor adaosuri minime de prelucrare, precum și micșorarea consumului specific de materii prime și auxiliare, energie electrică, combustibil, aer comprimat etc.;

— posibilitatea realizării unei înalte productivități;

— să asigure condiții favorabile de muncă și respectarea normelor de securitate a muncii;

— adaptarea la caracterul producției de piese turnate, la dimensiunile și greutatea pieselor.

În practică se utilizează curent clasificarea care, în funcție de numărul pieselor fabricate pe an și greutatea pe bucată a acestora, grupează producția în cinci categorii (tab. 4.1). După greutatea pe bucată și dimensiunile lor, piesele turnate pot fi clasificate convențional în: piese mici (sub 100 kg pe bucată), piese mijlocii (100 . . . 1000 kg), piese mari (1000 . . . 5000 kg pe bucată) și foarte mari (peste 5000 kg).

Tabelul 4.1

Scara producției la fabricarea pieselor turnate

Nr. crt.	Scara producției	Piese mici pe un an	Piese mari pe un an
1	Producție de unicate (individuală)	0...200	0...50
2	Serie mică	200...1000	50...300
3	Serie mijlocie	1000...20000	300...500
4	Serie mare	20000...30000	peste 500
5	Producție de masă	peste 30000	nu este cazul

În prezent producția cea mai mare de piese turnate se obține prin turnare în forme temporare și anume în forme crude, executate din amestec de formare cu ajutorul modelelor.

Scanned with OKEN Scanner

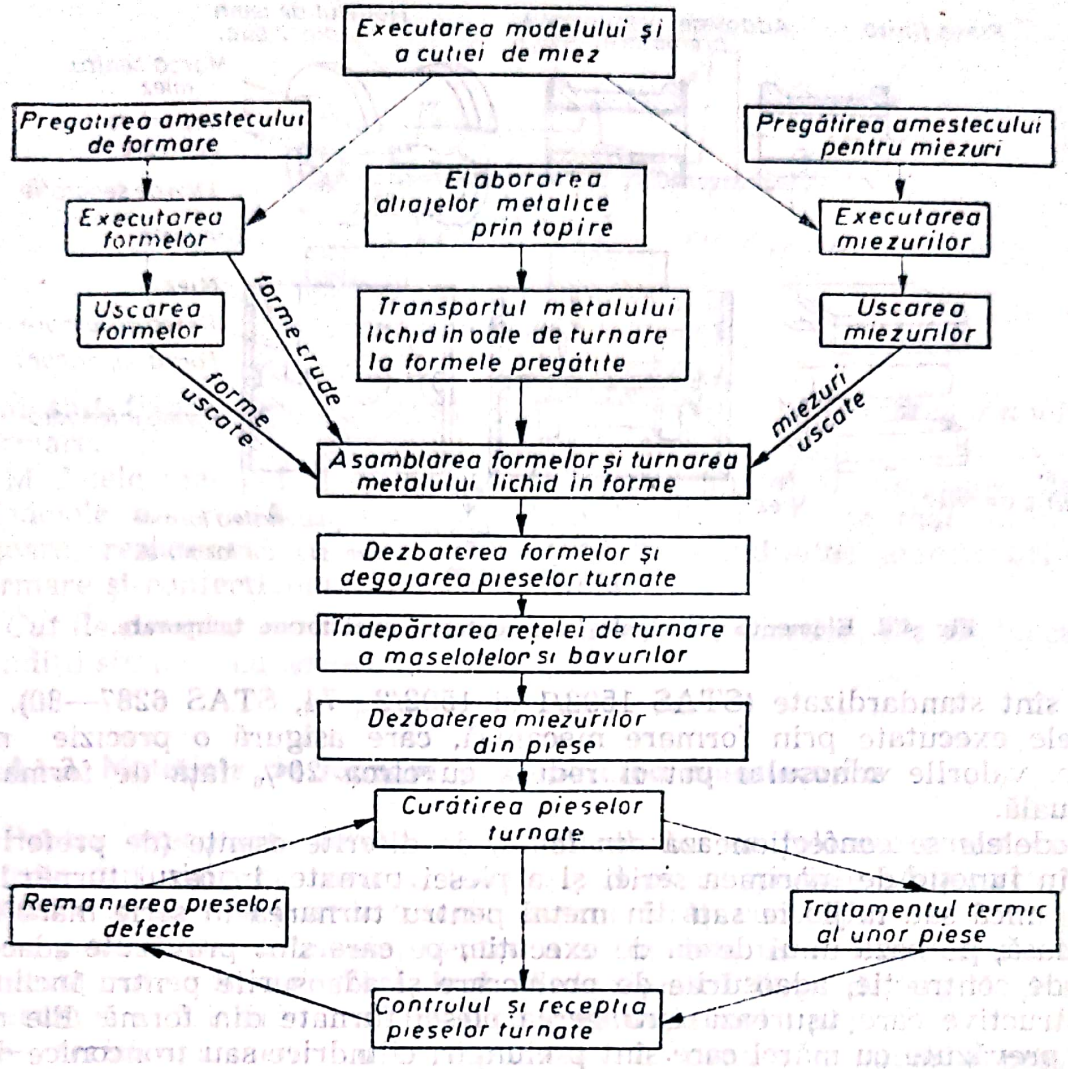


Fig. 4.1. Schema procesului tehnologic de turnare în forme temporare.

Schema procesului tehnologic de turnare în forme temporare din amestec de formare este prezentată în figura 4.1, iar construcția modelului și a miezului, împreună cu elementele componente principale ale unei forme temporare din amestec de formare, gata pregătită pentru turnare, sînt date în figura 4.2.

4.1.2. Modelele de turnătorie și construcția lor

Modelul reprezintă reproducerea aproape exactă, din lemn sau metal, a piesei de turnat, cu ajutorul căruia se obțin formele în amestecul de formare. Modelul este supradimensionat față de piesa de turnat, ținîndu-se seama de:

— *coeficientul de contracție* al metalului la solidificare și la răcire, care este pentru fontă cenușie 0,7 ... 1,0%, pentru fontă nodulară 0,5 ... 1,0%, pentru fontă maleabilă 1,0 ... 1,5%, pentru oțeluri carbon și aliate 1,5 ... 2,2%, aliaje de aluminiu 0,8 ... 1,5%;

— *adaosurile de prelucrare* reprezentînd surplusul de metal prevăzut la suprafețele care urmează să fie prelucrate prin așchiere. Aceste adao-

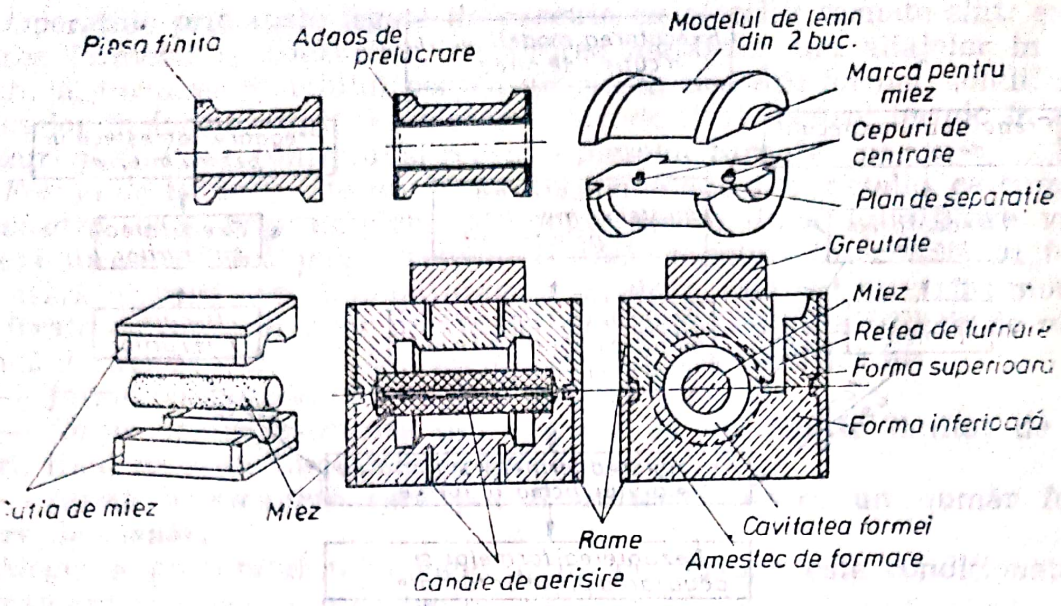


Fig. 4.2. Elemente principale la executarea unei forme temporare.

suri sînt standardizate (STAS 1592/1 și 1592/2—74, STAS 6287—80). La piesele executate prin formare mecanică, care asigură o precizie mai mare, valorile adaosului pot fi reduse cu circa 20% față de formarea manuală.

Modelele se confecționează *din lemn,* de diferite esențe (de preferință tei) în funcție de mărimea seriei și a piesei turnate, în cazul turnării în serie mică sau mijlocie sau din metal pentru turnarea în serie mare sau de masă, pe baza unui desen de execuție, pe care sînt prevăzute adaosurile de contracție, adaosurile de prelucrare și adaosurile pentru înclinări constructive care ușurează extragerea piesei turnate din formă. Ele mai sînt prevăzute cu mărci care sînt prelungiri cilindrice sau tronconice destinate să creeze în formă goluri suplimentare pentru rezemarea și fixarea miezurilor. Cel mai întrebuințat material lemnos în modelărie este teiul, care se prelucrează ușor, se netezește bine și rezistă la numeroase formări. Bradul este mult mai puțin corespunzător, dar este mai ieftin. Pentru modelele de mare precizie se pot folosi și alte esențe lemnoase mai scumpe. Modelele se fac din două sau mai multe bucăți care se pot ușor asambla. Pentru a preveni deformarea modelului, acesta se execută prin lipire din mai multe straturi suprapuse, cu fibrele așezate perpendicular. De asemenea, pentru protejarea împotriva umidității, pentru a le mări rezistența la uzare și a ușura scoaterea lor din semiforme, modelele de lemn se vopsesc în culori convenționale: roșu pentru fontă, albastru pentru oțel și galben pentru metale sau aliaje neferoase, după care se lăcuiesc. Zona miezului se vopsește în negru.

Modelele metalice se confecționează, de obicei, din aliaje de aluminiu, ele fiind rezistente mecanic, ușoare și rezistente la coroziune. Se mai pot folosi: bronzul, alama, eventual fonta cenușie sau oțelul. Ele se obțin prin turnare pe baza unor submodele (promodele) din lemn, la stabilirea dimensiunilor acestora ținîndu-se cont atît de contracția la turnare a modelului, cît și de contracția la turnare a piesei. Modelele metalice sînt utilizate mai ales la formarea mecanică pe mașini de format. În acest caz se utilizează o *placă de model,* pe care sînt fixate, în afara semimodelelor și elementele rețelei de turnare (fig. 4.3). De asemenea,

Scanned with OKEN Scanner

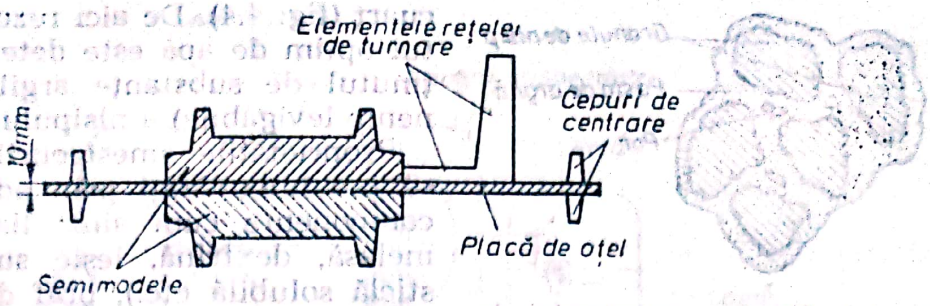


Fig. 4.3. Placă de model.

mai sînt fixate cepuri de centrare care servesc la ghidarea ramelor de formare.

Modelele mai pot fi executate din ipsos, ciment și materiale plastice. Modelele din masă plastică sînt folosite din ce în ce mai mult, fiind ușoare, rezistente, nu sînt influențate de umiditatea amestecurilor de formare și confecționarea lor este simplă.

Cutiile de miez servesc pentru executarea miezurilor. Ele se execută în condiții similare cu acelea ale modelelor.

4.1.3. Materiale de formare și prepararea amestecurilor

Pentru executarea formelor și a miezurilor se folosesc amestecuri alcătuite din nisip de carieră, lianți și adaosuri speciale. *Amestecurile de formare* trebuie să posede o serie de proprietăți cum sînt:

— *plasticitate* suficientă, pentru a se modela ușor. Plasticitatea crește cu conținutul de apă (fără însă să depășească 8%), de argilă și lianți, precum și la folosirea unui nisip cu granulație mai fină;

— *rezistență mecanică* corespunzătoare, pentru a suporta presiunea exercitată de metalul lichid din formă sau solicitările în timpul manipulărilor. Această rezistență crește cu mărirea conținutului de argilă și lianți și cu creșterea fineței granulației;

— *permeabilitate* pentru a permite degajarea gazelor din forme. Ea crește cu micșorarea conținutului de argilă și de apă din amestec și cu creșterea mărimii granulelor de nisip. Scade însă dacă gradul de îndesare este prea mare;

— *refractaritate* pentru a rezista la acțiunea metalului topit. La o refractaritate necorespunzătoare, amestecul aderă puternic la suprafața piesei turnate;

— *compresibilitate* pentru a ceda efortului de contracție care apare la solidificarea și răcirea piesei turnate, evitîndu-se formarea crăpăturilor datorită frînării contracției;

— *durabilitate* — proprietate a amestecurilor de a-și păstra caracteristicile fizice și tehnologice la turnări repetate, putînd fi refolosite prin regenerări parțiale.

În laboratoare se verifică continuu aceste proprietăți și în plus se determină *compoziția granulometrică, conținutul de componente levigabile* (de argilă), *forma granulelor și umiditatea* amestecurilor.

Nisipurile de turnătorie sînt formate, de obicei, din granule de cuarț (SiO_2) de diferite dimensiuni și cantități variabile de argilă care joacă rolul de *liant,* adică după umezire contribuie la legarea granulelor de

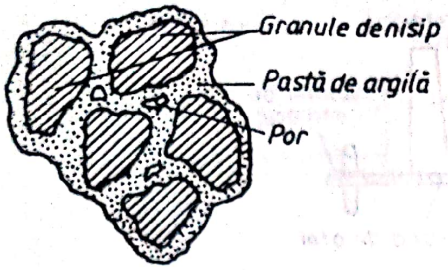


Fig. 4.4. Structura amestecului de formare.

cuarț (fig. 4.4). De aici rezultă că conținutul optim de apă este determinat de conținutul de substanțe argiloase (componente levigabile) a nisipului.

Proprietățile amestecurilor de formare se pot îmbunătăți prin adăugarea unor componente cum sînt: lianți (bentonită, melasă, dextrină, leșie sulfitică, ciment, sticlă solubilă etc.), praf de cocs, păcură, cocs de petrol și altele, care măresc rezistența mecanică, reduc conductivitatea termică și împiedică lipirea amestecului de suprafața pieselor turnate. La prepararea amestecurilor pentru forme se introduce și o parte de amestec folosit la turnările precedente, care a fost recondiționat.

Amestecurile de formare se clasifică în: *amestecuri de model,* folosite la executarea stratului ce vine în contact cu modelul, fiind alcătuit, în cea mai mare parte, din materiale proaspete; *amestecuri de umplere,* întrebuințate la completarea umplerii formei după îndesarea amestecului de model; *amestecuri unice,* folosite atît ca amestec de model, cît și ca amestec de umplere. În general, acest amestec se folosește la formarea mecanizată.

Amestecurile pentru miezuri fiind de o calitate mult mai bună decît cele de formare, se obțin din nisip cuarțos spălat, fără argilă, la care se adaugă un liant de calitate superioară, de exemplu *uleiul de in,* leșii sulfitice etc. La prepararea amestecurilor de miez nu se introduce amestec folosit.

Prepararea amestecurilor de formare și pentru miezuri se face în instalații complexe (fig. 4.5) de pregătire continuă, care execută automat toate operațiile, inclusiv regenerarea amestecului.

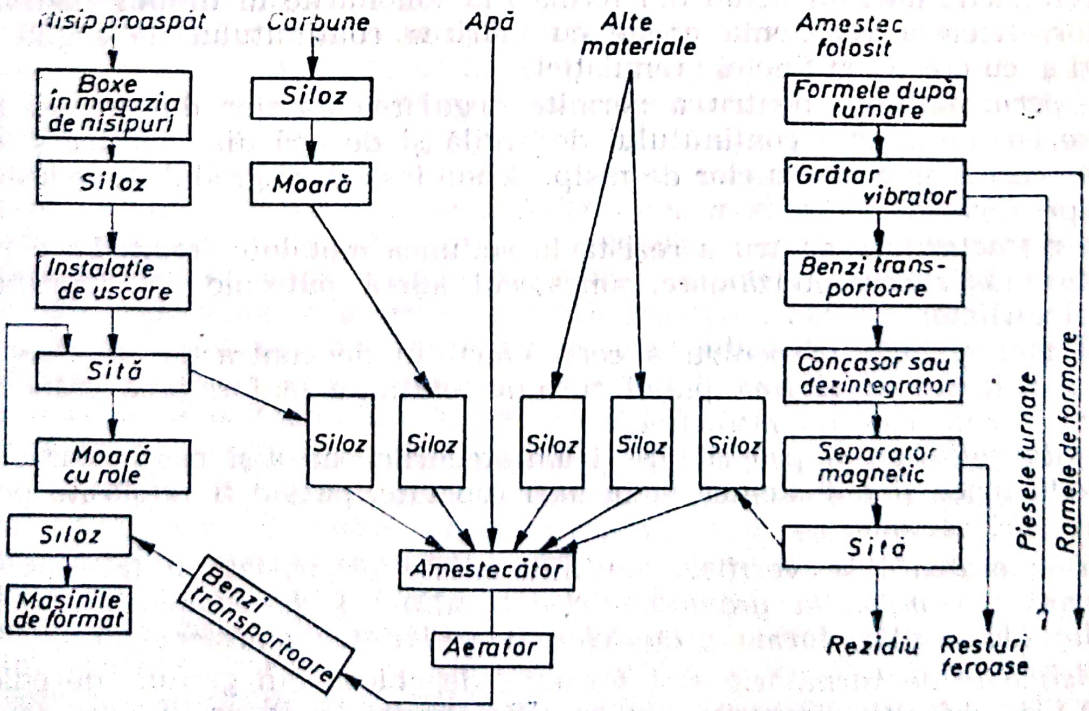


Fig. 4.5. Schema de principiu a instalației de preparare a amestecurilor de formare.

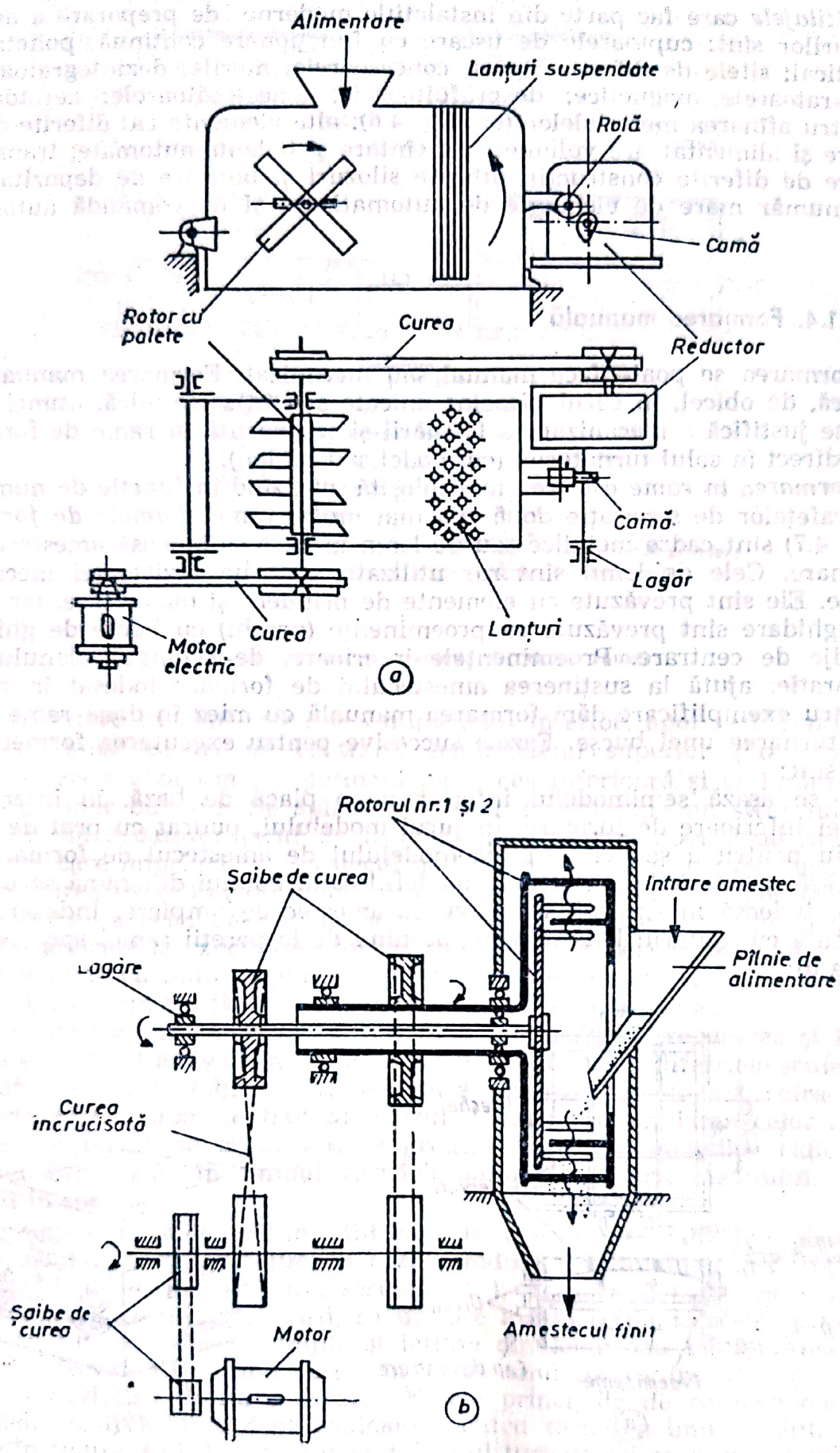


Fig. 4.6. Aerator cu palete (*a*) și cu rotoare (*b*).

Utilajele care fac parte din instalațiile moderne de preparare a amestecurilor sînt: cuptoarele de uscare cu funcționare continuă, polietajate vertical; sitele de diferite tipuri; concasoarele; morile; dezintegratoarele; separatoarele magnetice; desprăfuitoarele; amestecătoarele; aeratoarele pentru afînarea materialelor (ex. fig. 4.6); alte elemente ca: diferite dozatoare și alimentatoare volumetrice; cîntare și balanțe automate; transportoare de diferite construcții; diferite silozuri și buncăre de depozitare și un număr mare de elemente de automatizare și de comandă automată etc.

4.1.4. Formarea manuală

Formarea se poate face manual sau mecanizat. Formarea manuală se aplică, de obicei, în cazul pieselor unicate sau în serie mică, atunci cînd nu se justifică o mecanizare a formării și se execută în rame de formare sau direct în solul turnătoriei (cu model sau șablon).

Formarea în rame este cea mai folosită, utilizînd în funcție de numărul suprafețelor de separație două sau mai multe rame. *Ramele de formare* (fig. 4.7) sînt cadre metalice sau de lemn în care se îndeasă amestecul de formare. Cele de lemn sînt rar utilizate, datorită rezistenței mecanice slabe. Ele sînt prevăzute cu elemente de prindere și manevrare, iar pentru ghidare sînt prevăzute cu proeminențe (urechi) cu bucșe de ghidare și tije de centrare. Proeminențele interioare, de-a lungul planului de separație, ajută la susținerea amestecului de formare îndesat în rame. Pentru exemplificare dăm formarea manuală cu miez în două rame pentru turnarea unei bucșe. Fazele succesive pentru executarea formei (fig. 4.8) sînt:

— se așază semimodelul inferior pe o placă de bază, în interiorul ramei inferioare de formare. În jurul modelului, pudrat cu praf de licopodiu pentru a se evita lipirea modelului de amestecul de formare, se îndeasă un strat de amestec de model. Restul golului din ramă se umple și se îndeasă în straturi succesive cu amestec de umplere. Îndesarea se execută cu ajutorul bătătoarelor, pornind de la pereții ramei spre centru (faza *a*);

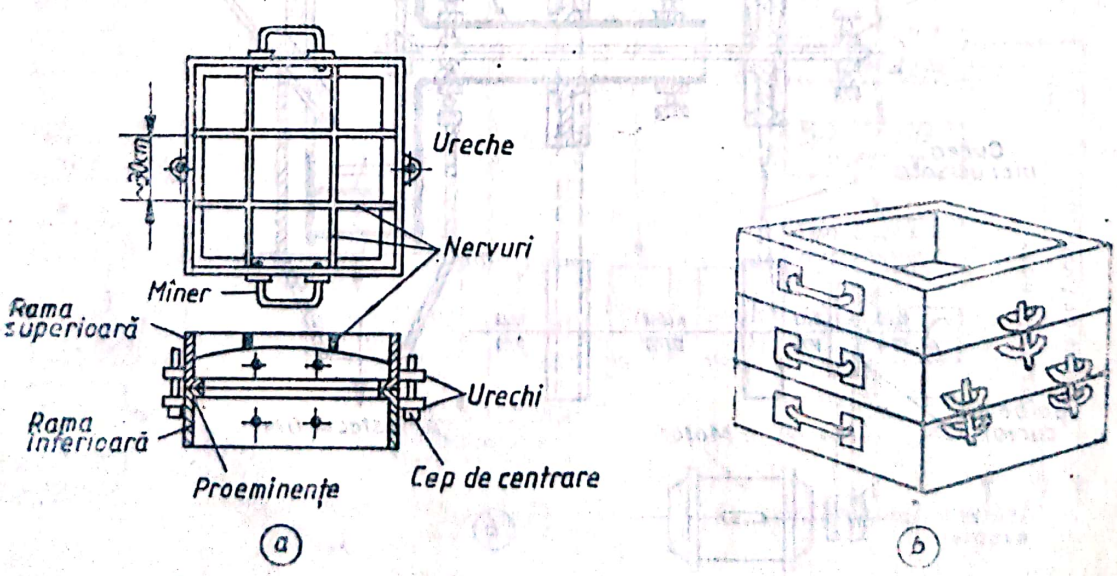


Fig. 4.7. Rame de formare (*a*), garnitură compusă din 3 rame (*b*).

Scanned with OKEN Scanner

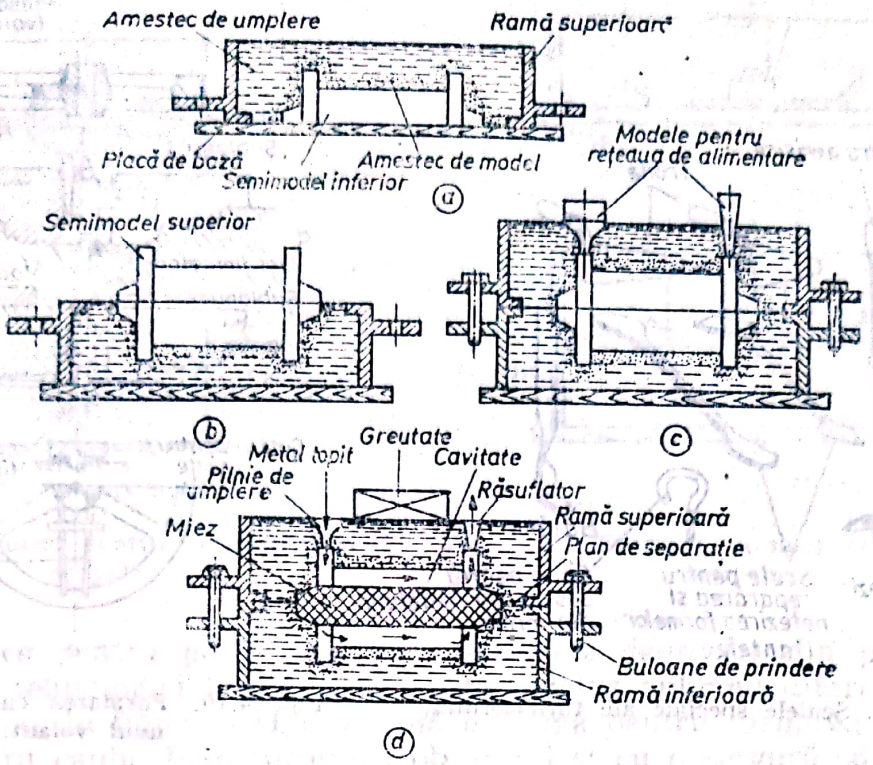


Fig. 4.8. Formarea manuală în două rame.

— se întorc cu 180° rama și semimodelul inferior, apoi se fixează, cu ajutorul unor cepuri de centrare, semimodelul superior (faza *b*);

— se așază apoi rama superioară peste cea inferioară și se îmbină cu ajutorul unor buloane. Se aplică pe planul de separație un strat subțire de material separator (praf de licopodiu), se fixează apoi două modele de lemn care imprimă în amestecul de formare canalele, pentru turnarea și evacuarea excesului de metal și a gazelor (răsuflător) și apoi se execută formarea celei de-a doua jumătate a formei prin operații identice cu cele aplicate la executarea formei inferioare. Se perforează apoi amestecul îndesat cu ajutorul unui ac pentru crearea unor canale de aerisire (faza *c*), așa cum s-a făcut și la executarea primei semiforme;

— se desfac ramele și se extrage modelul. Urmează repararea și finisarea suprafeței active a jumătăților de formă, folosind diferitele scule ale turnătorului (fig. 4.9); uneori se aplică un strat de vopsea refractară antiaderentă și apoi se fixează miezul. Urmează asamblarea celor două rame. Pe formă se așază apoi o greutate care să împiedice ridicarea formei superioare în timpul turnării datorită apăsării metalului topit de jos în sus.

Formarea cu șablonul se utilizează în special la realizarea pieselor mari, cu formă de revoluție, în cazul producției individuale (ex. roți de transmisii de diametru mare, scripeți etc.). Această metodă are avantajul reducerii costului formării, ca urmare a înlocuirii modelelor complicate cu șabloane foarte simple și ieftine din lemn sau tablă, avînd un profil adecvat, care fiind rotite în jurul unui ax central de oțel, vor genera cavitatea dorită a formei. Fazele principale de confecționare a formei, cu ajutorul a două șabloane, pentru turnarea unui volant, sînt date în figura 4.10. Într-o groapă din solul turnătoriei se așază un suport metalic masiv, în care se fixează axul central al șabloanelor. Groapa se

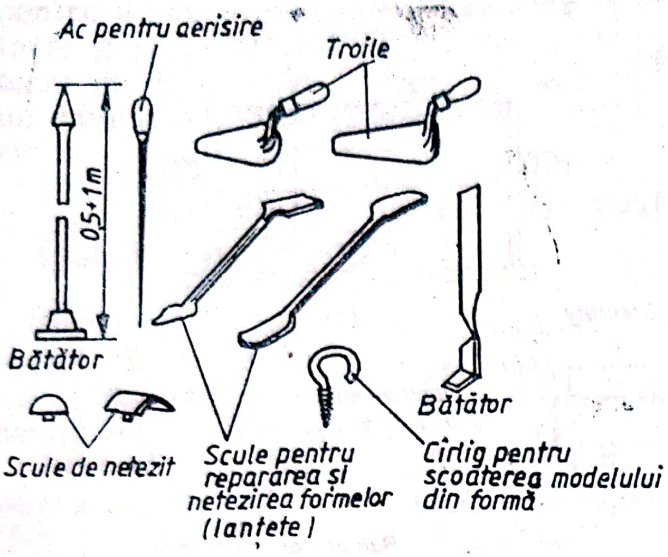


Fig. 4.9. Sculele speciale ale turnătorului.

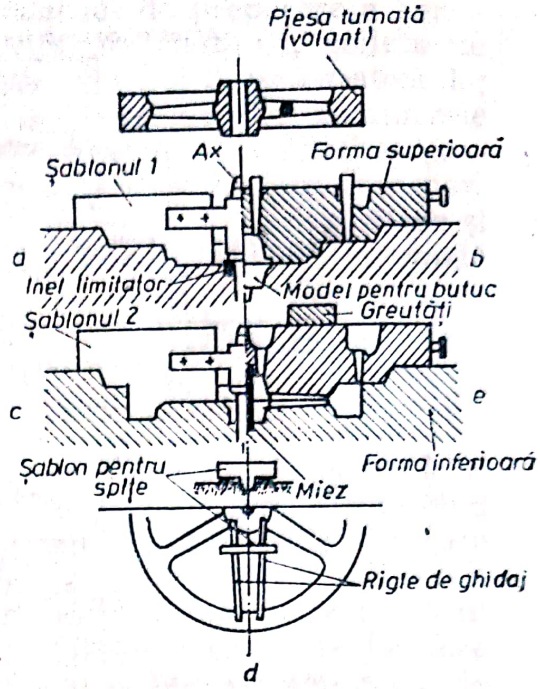


Fig. 4.10. Formarea cu șabloane a unui volant.

umple apoi cu amestec de umplere, iar în partea superioară, cu amestec de model, care se îndeasă în mod corespunzător. Pe ax, la o înălțime adecvată, se fixează un inel limitator, iar deasupra acestuia se așază pe ax brațul metalic cu șablonul *1* (fig. 4.10. *a*). Prin rotirea acestui șablon se execută o cavitate, avînd conturul corespunzător pentru confecționarea în faza următoare a formei superioare. În continuare se îndepărtează de pe ax șablonul cu brațul și inelul limitator și se introduce la locul corespunzător jumătatea de jos din modelul butucului. Apoi, se scoate axul și se așază a doua jumătate a butucului și se fixează, în jurul cavității deja executate, rama formei superioare, a cărei poziție se asigură cu 4 țăruși din oțel cornier bătuți în jurul colțurilor ramei de formare. Se așază modelele pentru piciorul pîlniei de turnare și pentru răsuflătoare, se umple rama cu amestec de formare, după ce în prealabil forma inferioară a fost bine pudrată cu praf de licopodiu și se îndeasă manual amestecul, executîndu-se la urmă și găurile de aerisire prin împungere (fig. 4.10, *b*). După ridicarea părții superioare a formei se îndepărtează modelul butucului, se reintroduce în suportul îngropat axul cu inelul limitator și se montează în poziția de lucru șablonul *2*, cu care se execută apoi conturul definitiv al părții de jos a formei, îndepărtîndu-se încă amestec de formare, față de situația creată de primul șablon (fig. 4.10, *c*). Cu ajutorul unui mic șablon de translație pentru spițe, care poate glisa pe două rigle așezate în locurile corespunzătoare, se execută în amestecul îndesat din zona planului de separație locul spițelor (fig. 4.10, *d*). După finisarea ambelor forme și îndepărtarea definitivă a axului (suportul mai rămîne în adîncime pînă după turnare), se așază miezul pentru gaura butucului și centrînd rama formei superioare cu ajutorul țărușilor, care au rămas tot timpul pe loc, se închide definitiv forma. În final, pe formă, se așază greutățile necesare, după care se poate începe turnarea.

Scanned with OKEN Scanner

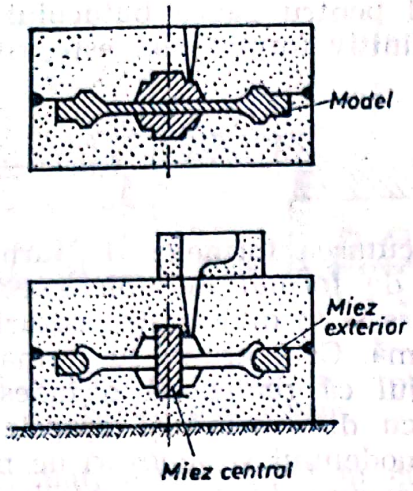


Fig. 4.11. Formă pentru turnarea unui scripete.

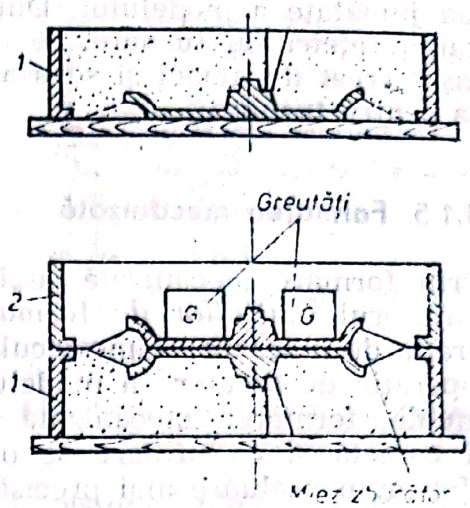


Fig. 4.12. Formare cu miez fals pentru un scripete.

Formarea pentru piese care pun probleme deosebite din punctul de vedere al tehnologiei formării, se poate rezolva aplicînd diferite metode. Ca exemplu, în figura 4.11 este dată o formă pentru turnarea unui scripete pentru cablu. Prin formarea obișnuită și cu o singură suprafață de separație, nu se poate realiza forma, deoarece jumătățile de model nu pot fi extrase din formă, datorită conicității negative (inverse) din zona de așezare a cablului. O rezolvare foarte bună, adecvată pentru serii mari, este dată în figură, unde se folosesc *miezuri exterioare* inelare și astfel se aplică metoda obișnuită de formare în două rame.

La serii mai mici, forma se poate realiza într-o garnitură de trei rame de formare, lucrînd cu două suprafețe de separație, unde rolul miezului exterior din exemplul precednt, va fi preluat de amestecul de formare îndesat în rama mijlocie.

La serii foarte mici, sau la o producție individuală, se poate aplica și *metoda cu miez zburător* (sau miez fals), dar aici executarea formei durează mai mult și este nevoie de muncitori cu înaltă calificare. Aplicînd această metodă interesantă (fig. 4.12), prima dată se execută forma superioară (în rama nr. 1), așezînd pe placa de lemn atît semimodelul piesei, cît și modelele pentru piciorul pîlniei de turnare și pentru răsuflătoare. După întoarcerea semiformei superioare cu 180°, se scobește cu lanțeta în jurul semimodelului un canal inelar, a cărei suprafață se netezește bine. Se așază jumătatea a doua a modelului piesei, pe care se pun niște greutăți pentru a preîntîmpina orice deplasare a modelului și se pudrează suprafața de separație. În continuare, se îndeasă amestec de formare în jurul modelului, formînd miezul zburător. După ce se netezește și se pudrează și suprafața de sus a miezului zburător, se îndepărtează greutățile, se așază rama a doua (inferioară) și se execută în modul obișnuit și a doua jumătate a formei. Pentru îndepărtarea modelului din formă, se ridică prima dată rama nr. 2, cînd, datorită greutății proprii, miezul zburător rămîne sprijinit pe jumătatea de formă din rama nr. 1, permițînd extragerea modelului din rama nr. 2 fără nici o dificultate. După aceasta se așază din nou rama nr. 2 înapoi pe jumătatea cealaltă a formei, se întoarce tot ansamblul cu 180°, se ridică apoi rama nr. 1 și miezul zburător rămînînd din nou în partea inferioară, se extrage și a

doua jumătate a modelului. După repararea și controlul formei și executarea rețelei de turnare, se așază miezul pentru gaura butucului în locașul creat de model și se asamblează definitiv forma, care este astfel gata pentru turnare.

4.1.5. Formarea mecanizată

Prin formare mecanizată se înțelege executarea formelor de turnare cu ajutorul *mașinilor de format*. Mașinile de format mecanic execută operația de îndesare a amestecului de formare și în majoritatea cazurilor și operația de scoatere a modelului din formă. Comparativ cu formarea manuală, formarea mecanizată are avantajul că realizează o îndesare mai corectă și ca urmare se obțin piese cu dimensiuni și proprietăți uniforme, o preluare mai precisă a formei modelului și adaosuri de prelucrare mai mici. Totodată productivitatea foarte ridicată a mașinilor de format face ca numărul muncitorilor să fie mai mic, cu o calificare inferioară și efortul fizic necesar să fie mai mic. Formarea mecanizată se aplică în cadrul producției de serie sau de masă, pentru piese nu prea mari și a căror modele se pot extrage relativ ușor din formă. Pentru formare se folosesc în general *plăci de model*, pe care sînt fixate modelele metalice. Formele realizate la aceste mașini se folosesc în stare crudă, amestecul de formare este unic și se găsește de obicei într-un siloz deasupra mașinii de format.

Mașinile de format se diferențiază după modul de acționare, după modul de îndesare a amestecului și după modul de extragere a modelului din formă.

După modul de acționare, mașinile de format pot fi: cu acționare pneumatică, hidraulică, mecanică și electromagnetică. Cele mai răspîndite sînt mașinile cu acționare pneumatică prin faptul că se manevrează ușor. Inconvenientul constă în faptul că au un randament energetic scăzut. Mașinile de format cu acționare electromagnetică sînt simple și au un consum redus de energie, de aceea au perspective de viitor.

După modul de îndesare, pot fi: mașini cu îndesare prin presare, prin scuturare și îndesare suplimentară, cu cap aruncător al amestecului și mașini speciale.

După modul de extragere a modelului, pot fi: mașini la care forma se ridică de pe placa de model (mecanism de extragere cu cepuri), mașini cu tragerea în jos a plăcii de model, mașini cu mecanism de extragere cu pieptene și mașini cu placă sau masă basculantă.

Mașinile de format cu îndesare prin presare de obicei lucrează prin presare superioară (de sus în jos), așa cum se poate observa în figura 4.13. Pentru a ține seamă de diferența de densitate a amestecului de formare liber vărsat în ramă și a celui presat (îndesat), deasupra ramei fixate pe masa mașinii de format, se așază o *cutie de umplere*, ca să se asigure o înălțime totală de umplere $H = h_1 + h_2$ (fig. 4.13, *a*) și astfel în volumul respectiv să se cuprindă cantitatea necesară de amestec de formare. În timpul presării, amestecul din cutia de umplere este forțat să intre în rama de formare, realizîndu-se îndesarea preconizată (fig. 4.13, *b*).

În cazul ramelor înalte se aplică mai avantajos *mașinile de format prin scuturare* (fig. 4.14), care asigură o densitate mult mai uniformă a amestecului de formare în ramă. Scuturarea mesei, împreună cu placa model și ramele umplute cu amestec, se realizează cu ajutorul aerului

Scanned with OKEN Scanner

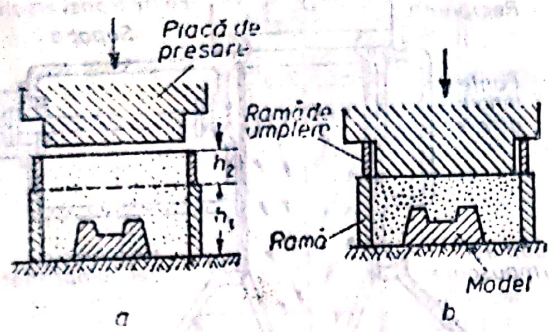


Fig. 4.13. Principiul îndesării amestecului de formare prin presare.

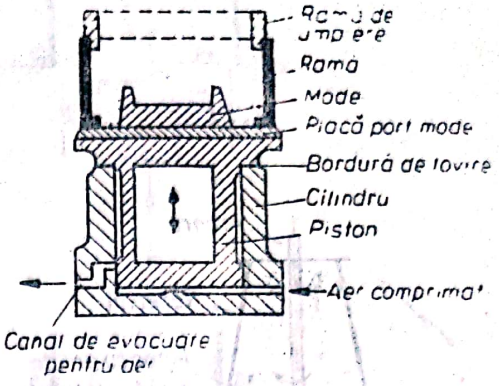


Fig. 4.14. Mașină de format cu îndesare prin scuturare.

comprimat, care intrînd în cilindru, ridică pistonul pînă la o înălțime dictată de poziția orificiului de evacuare, de unde cade apoi liber, efectuînd o lovitură. Acest ciclu se repetă pînă la închiderea robinetului de aer comprimat. Densitatea cea mai uniformă a amestecului se poate realiza cu ajutorul mașinilor de format prin scuturare și presare suplimentară.

Mașinile de format cu cap aruncător sînt utilizate avantajos în special în cazul formelor mijlocii și mari (fig. 4.15). Partea principală este capul

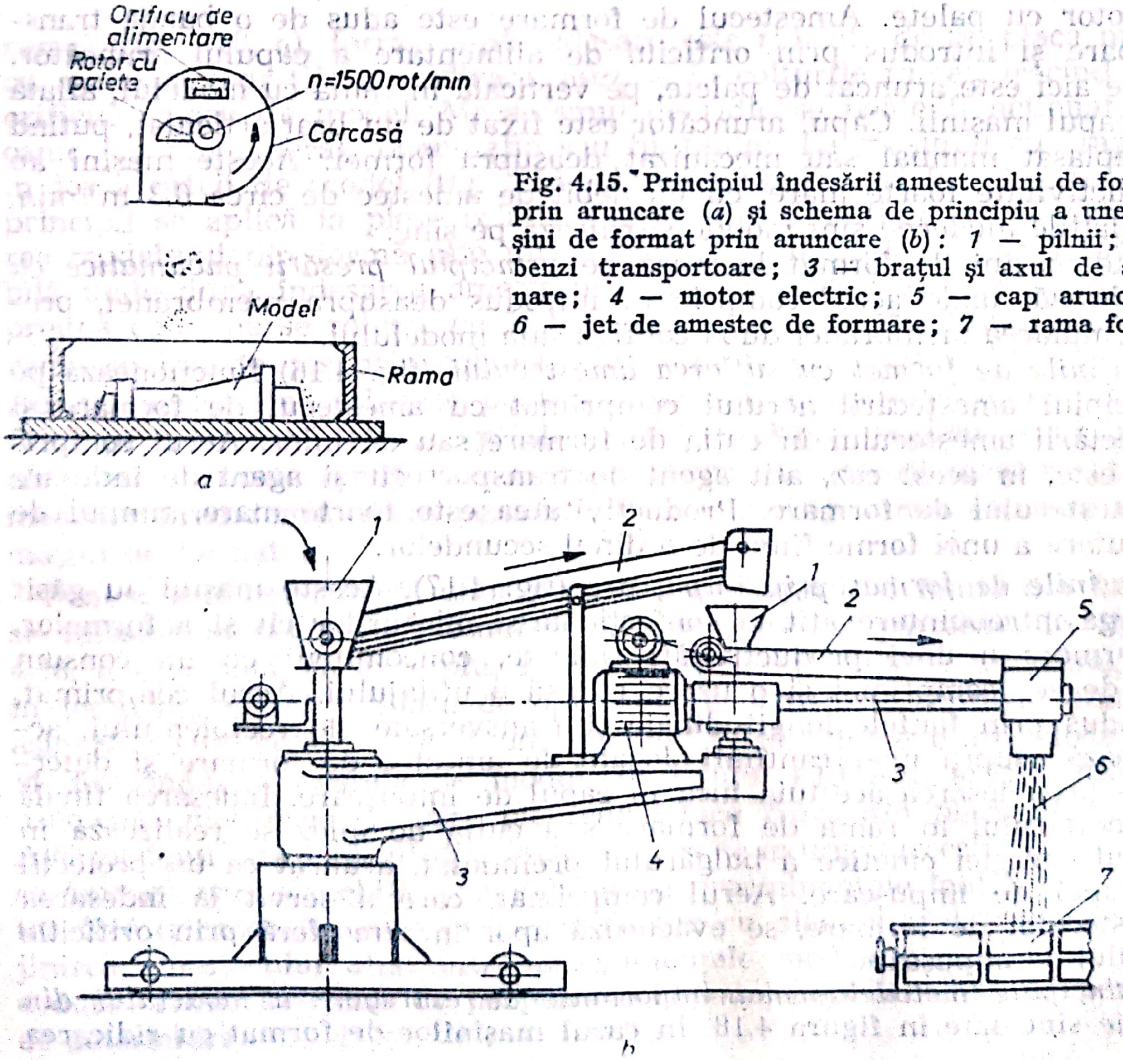


Fig. 4.15. Principiul îndesării amestecului de formare prin aruncare (*a*) și schema de principiu a unei mașini de format prin aruncare (*b*): *1* — pîlnii; *2* — benzi transportoare; *3* — brațul și axul de antrenare; *4* — motor electric; *5* — cap aruncător; *6* — jet de amestec de formare; *7* — rama formei.

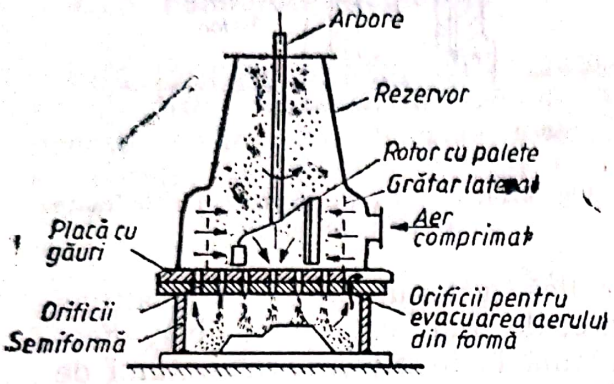


Fig. 4.16. Schema unei mașini de format cu îndesarea amestecului prin suflare.

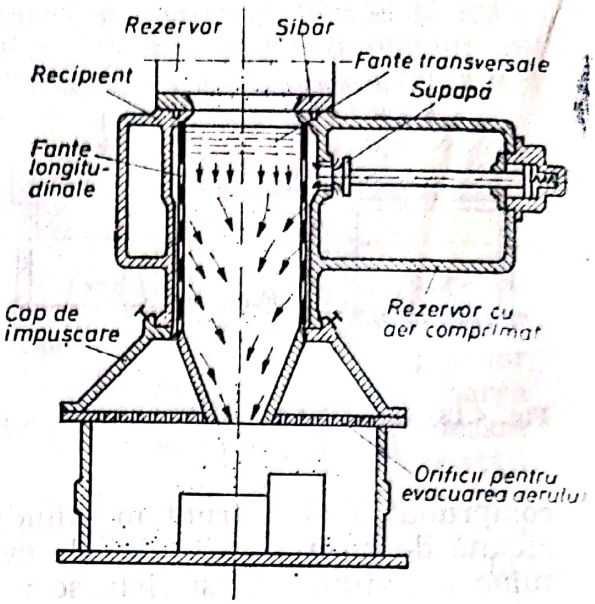


Fig. 4.17. Schema de principiu a funcționării mașinii de format cu îndesare prin împușcare.

aruncător format dintr-o carcasă în care se învîrtește cu mare viteză un rotor cu palete. Amestecul de formare este adus de o bandă transportoare și introdus prin orificiul de alimentare a capului aruncător, iar de aici este aruncat de palete, pe verticală în rama cu modelul, aflată sub capul mașinii. Capul aruncător este fixat de un braț articulat, putînd fi deplasat manual sau mecanizat deasupra formei. Aceste mașini au productivitate foarte mare, cu un debit de amestec de circa 0,3 m^3/min. Instalațiile moderne sînt mobile și rulează pe șine.

Alte mașini de format lucrează pe *principiul presării pneumatice cu membrană,* unde aerul comprimat, introdus deasupra membranei, produce mularea membranei după configurația modelului.

Mașinile de format cu suflarea amestecului (fig. 4.16) funcționează pe principiul amestecării aerului comprimat cu amestecul de formare și proiectării amestecului în cutia de formare sau de miez. Aerul comprimat este, în acest caz, atît agent de transport cît și agent de îndesare a amestecului de formare. Productivitatea este foarte mare, timpul de executare a unei forme fiind de ordinul secundelor.

Mașinile de format prin împușcare (fig. 4.17). Aceste mașini au găsit o largă întrebuințare atît la confecționarea miezurilor cît și a formelor, ca urmare a unei productivități ridicate, concomitent cu un consum mic de aer comprimat și o uzare redusă a utilajului. Aerul comprimat, introdus prin fantele longitudinale și transversale ale recipientului, acționează asupra unei cantități dozate de amestec de formare și determină preîndesarea acestuia încă în capul de împușcare. Îndesarea finală a amestecului în rama de formare sau cutia de miez se realizează în contul energiei cinetice a bulgărului preîndesat, aruncat ca un proiectil în capul de împușcare. Aerul comprimat, care a servit la îndesarea amestecului de formare, se evacuează apoi în atmosferă prin orificiile capului de împușcare.

Principiile metodelor mai importante de extragere a modelului din forme sînt date în figura 4.18. În cazul mașinilor de format cu ridicarea

Scanned with OKEN Scanner

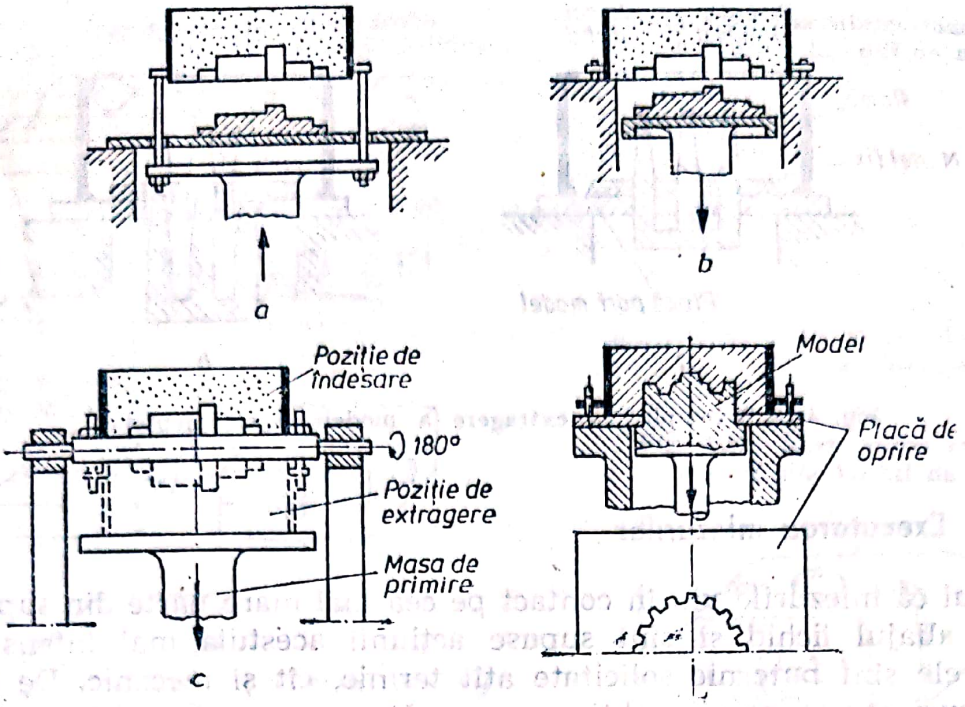


Fig. 4.18. Principiile metodelor de extragere a modelelor din forme.

ramei (fig. 4.18, *a*), forma după îndesare este ridicată de pe placa model cu ajutorul unor tije de ridicare, așezate în colțurile ramei, trecînd prin orificiile plăcii de model. Mecanismul de ridicare poate fi acționat mecanic (cu cremalieră), pneumatic sau hidraulic. La mașinile cu tragerea în jos a plăcii de model (fig. 4.18, *b*) rama rămîne pe loc. Aceste două principii se aplică la piese relativ simple și de înălțime mică. Extragerea modelului din formă este mult ușurată la mașinile cu placă rabatabilă unde după îndesarea amestecului de formare, placa de model împreună cu rama se rotește cu 180° în jurul unui ax orizontal, după care rama se lasă în jos prin coborîrea unei mese de primire (fig. 4.18, *c*). Aceste mașini sînt utilizate pentru piese mai complicate și mai înalte. Dacă pe cele două fețe ale plăcii model se găsesc jumătățile de model ale piesei, ambele semiforme se pot executa pe aceeași mașină față de mașinile precedente, unde pentru o formă întreagă erau necesare două mașini de format.

Pentru evitarea ruperii unor proeminențe înguste și înalte din forme, se folosesc *mașinile cu mecanism de extragere cu pieptene*. În figura 4.18, *d* este dată, ca exemplu, formarea unei roți dințate. La extragerea în jos a modelului, o placă de oprire, care urmărește conturul dinților, asigură menținerea pe loc a amestecului îndesat între dinții modelului și desprinderea acestuia de model. În figura 4.19 este arătat încă un asemenea mecanism, la care pieptenele face parte din placa de model. Aici modelul este alcătuit din două părți ce se extrag succesiv. La început se extrage partea mobilă a modelului cu proeminențele înalte, cînd partea fixă (pieptenele), care face corp comun cu placa model, asigură sprijinirea amestecului aflat între proeminențele modelului mobil. În faza a doua, forma se ridică de pe placa portmodel deja fără nici un pericol de deteriorare.

Scanned with OKEN Scanner

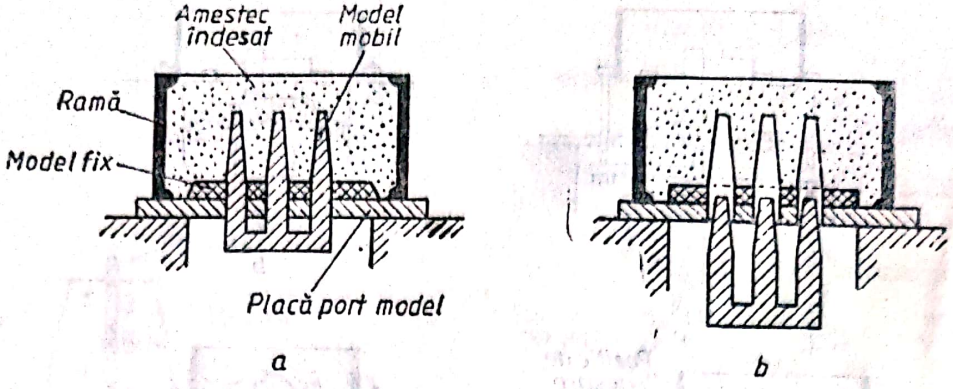


Fig. 4.19. Exemplu de extragere a modelului cu pieptene.

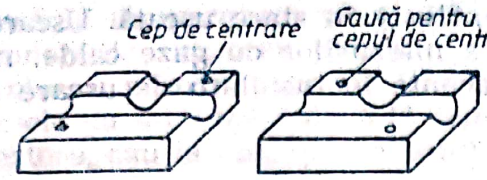
4.1.6. Executarea miezurilor

Faptul că miezurile vin în contact pe cea mai mare parte din suprafața lor cu aliajul lichid și sînt supuse acțiunii acestuia mai intens decît forma, ele sînt puternic solicitate atît termic, cît și mecanic. De aceea, la miezuri se va urmări obținerea următoarelor proprietăți: rezistență mecanică ridicată, atît în stare crudă, cît și în stare uscată; refractaritate ridicată; compresibilitate bună; permeabilitatea la gaze și capacitate bună de dezbatere.

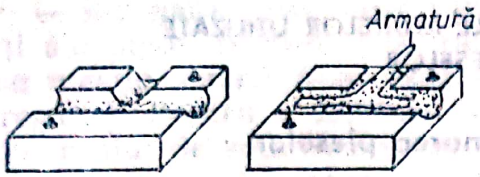
Pentru mărirea rezistenței mecanice a miezurilor, în interiorul lor se introduc *armături metalice* turnate sau confecționate din sîrmă de oțel, iar pentru mărirea permeabilității, miezurile sînt prevăzute cu *canale de aerisire* prin care se evacuează gazele. Aceste canale se realizează fie cu ajutorul unor vergele metalice, fie prin introducerea în cazul miezurilor de formă complicată a unor lumînări (șnur) de ceară, care în timpul uscării miezurilor se topesc, fie prin adăugarea în amestec a unor materiale care să ardă în timpul turnării, mărind porozitatea, compresibilitatea și ușurînd dezbaterea (ex. rumeguș de lemn, paie tocate etc.).

Executarea miezurilor se poate face fie manual, în cazul producției individuale, cu ajutorul cutiilor de miez sau a șabloanelor de rotație și de translație, fie mecanizat, în cazul producției de serie mare, folosind *mașini* speciale *de miezuit*.

Executarea manuală a miezurilor folosind *cutiile de miez* (fig. 4.20): amestecul de miez se îndeasă separat în cele două jumătăți de cutie, se netezește suprafața, se așază armătura metalică și vergelele de metal sau șnurul de ceară pentru canalele de aerisire, suprafața se unge cu o pastă de argilă și prin închiderea cutiei se lipesc jumătățile miezului. Se scot apoi vergelele cu ochi, se desface cutia și miezul se așază pe un pat moale de uscare. După o uscare preliminară, miezurile se vopsesc cu un amestec refractar și apoi se face uscarea definitivă. Sînt cazuri cînd pentru aerisire (în cazul miezurilor mari) în interiorul miezurilor se pun bucăți de cocs sau zgură (fig. 4.21) cu scopul de a mări permeabilitatea și de a ușura dezbaterea. Miezurile cu profil de revoluție sau secțiune constantă se pot executa cu *șablonul* (fig. 4.22), înfășurînd pe o țeavă perforată o *funie de talaj* sau paie, după care se așază amestecul



← Fig 4.20. Executarea manuală a miezurilor în cutii de miez.



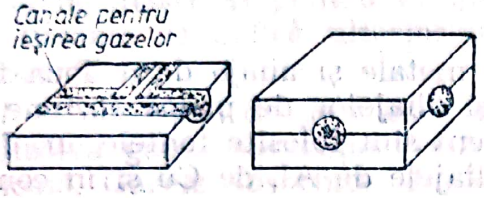
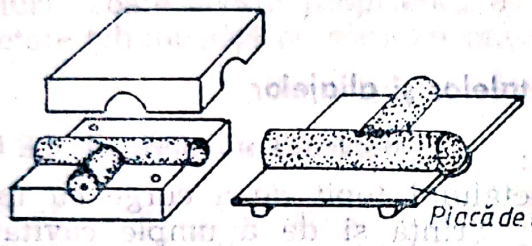
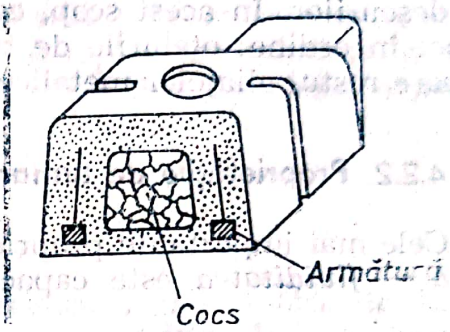


Fig. 4.21. Miez mare cu zona centrală din bucăți de cocs.





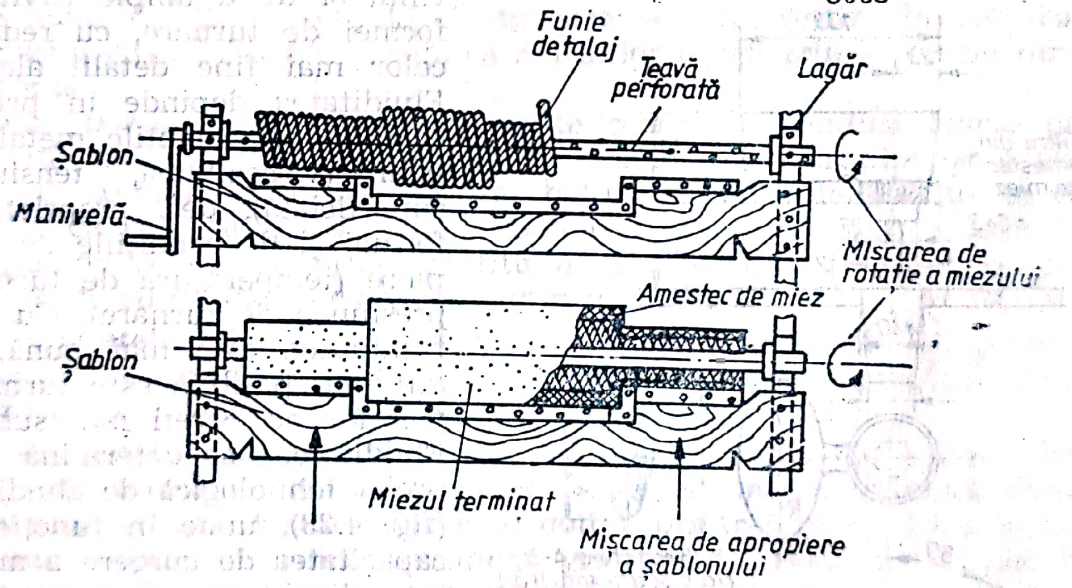


Fig. 4.22. Executarea miezurilor cu șablonul.

de miez. Cînd miezul capătă o formă apropiată de cea finală, se șablonează prin răzuire în vederea îndepărtării surplusului de amestec.

Executarea mecanică a miezurilor în turnătoriile moderne se face cu ajutorul mașinilor pentru format miezuri care lucrează pe principiile presării, scuturării, suflării (v. paragraful 4.1.5).

4.1.7. Uscarea formelor și a miezurilor

Prin uscare formele și miezurile devin mai rezistente, dobîndesc o permeabilitate mai bună și își reduc capacitatea de a genera gaze la turnare. Formele uscate se folosesc în special la turnarea pieselor din

oțel, iar miezurile sînt folosite aproape exclusiv în stare uscată. Uscarea se realizează prin încălzirea formelor și a miezurilor cu gaze calde, radiații infraroșii sau curenți de înaltă frecvență în instalații de uscare de diferite tipuri.

4.2. ELABORAREA ȘI PROPRIETĂȚILE ALIAJELOR UTILIZATE LA TURNAREA PIESELOR

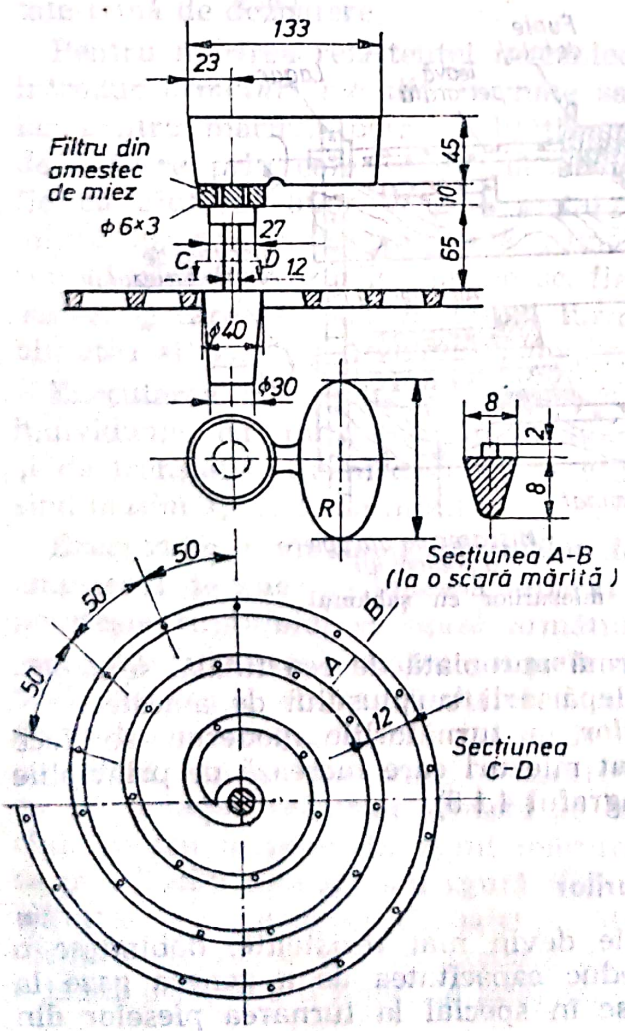
4.2.1. Metalele și aliajele utilizate la turnarea pieselor de mașini

Pentru turnarea pieselor sînt utilizate metale și aliaje de a doua fuziune, elaborate prin topirea metalelor și aliajelor de primă fuziune și a deșeurilor. În acest scop, cel mai frecvent sînt folosite fontele, urmînd apoi în ordine: oțelurile de turnătorie, aliajele de Al, de Cu și în continuare restul aliajelor metalice.

4.2.2. Proprietățile de turnare ale metalelor și aliajelor

Cele mai importante proprietăți sînt:

a — *fluiditatea* este capacitatea metalului topit de a curge cu ușurință și de a umple cavitatea formei de turnare, cu redarea celor mai fine detalii ale ei. Fluiditatea depinde în primul rînd de proprietățile metalului lichid (viscozitatea, tensiunea superficială), de proprietățile formei și de condițiile de umplere (temperatura de turnare, presiunea de turnare). Cu cît fluiditatea este mai bună, cu atît mai posibilă este turnarea pieselor cu pereți mai subțiri. Fluiditatea se determină prin proba tehnologică de fluiditate (fig. 4.23), unde în funcție de capacitatea de curgere a metalului lichid, acesta parcurge o lungime mai mare sau mai mică la umplerea spiralei. La această probă turnarea se poate face în formă crudă, uscată sau metalică;



← **Fig. 4.23. Spirala utilizată la determinarea fluidității metalului topit.**

b — *contracția* reprezintă diferența dimensională, volumetrică sau liniară dintre cavitatea formei și piesa turnată, a-

junsă la temperatura obișnuită. O contracție mare provoacă greutăți însemnate la turnarea pieselor, conducînd la apariția retasurilor de contracție, a porozităților etc. De asemenea, tot datorită contracției apar în piesele cu secțiune variabilă tensiuni importante, care duc la deformarea acestora, sau la apariția crăpăturilor;

c — *segregația* este neomogenitatea compoziției chimice în diferitele părți ale piesei turnate, rezultată în timpul solidificării acesteia, putînd fi segregație zonală (macrosegregație) sau segregație dendritică (microsegregație). Pentru a înlătura segregația, se recomandă o răcire rapidă în intervalul de solidificare, urmată de o răcire lentă pentru difuziunea de omogenizare și pentru eliminarea tensiunilor interne. Uneori, piesele turnate se aplică ulterior și un tratament termic de recoacere de omogenizare;

d — *absorbția de gaze* este proprietatea metalelor în stare lichidă de a dizolva gaze. Absorbția crește dacă temperatura de turnare este mai ridicată. Gazele absorbite, după solidificare și răcire, provoacă în piese sufluri. Toate aceste proprietăți definesc *turnabilitatea,* care este o proprietate tehnologică cu caracter mai complex.

4.2.3. Fontele de turnătorie

Fonta are caracteristici mecanice satisfăcătoare, proprietăți de turnare bune și este materialul de turnare cel mai ieftin. În construcția de mașini circa 70% din greutatea mașinilor o reprezintă piesele turnate din fontă.

Fonta poate înlocui oțelul în multe cazuri în condiții foarte bune. Datorită capacității pe care o are de a amortiza vibrațiile, este preferată, de exemplu, pentru fabricarea batiurilor mașinilor-unelte, în comparație cu cele sudate din oțel. Fontele pot fi albe sau cenușii. Din punctul de vedere al formei grafitului din structura fontelor, se deosebesc: fonte cu *grafit lamelar, nodular și în cuiburi.*

a — Fontele albe conțin tot carbonul legat cu fierul sub formă de cementită și constituie materia primă pentru elaborarea oțelului, iar în turnătorie sînt folosite pentru obținerea fontei maleabile.

b — Fontele cenușii conțin cea mai mare parte din carbon (circa 80%) sub formă de grafit, din care cauză ele au în spărtură (casură) un aspect cenușiu. Fonta cenușie se obține printr-o răcire lentă și la un conținut ridicat de siliciu (element grafitizant), respectiv la un conținut scăzut de mangan (element antigrafitizant).

Caracteristicile mecanice ale fontelor cenușii sînt influențate de masa metalică de bază și de cantitatea, dimensiunea și forma grafitului. Influența grafitului asupra rezistenței la rupere a fontelor cenușii se manifestă atît prin reducerea secțiunii, cît și prin influența crestăturilor (concentratori de tensiune). Astfel, se micșorează, în special rezistența la tracțiune, care, la aceste fonte, este de circa 4 ori mai mică decît cea de compresiune.

În funcție de structura masei metalice de bază, fontele cenușii se împart în: *fonte cenușii perlitice,* unde prin separarea unei părți din carbonul total sub formă de grafit, masa metalică de bază ajunge la concentrația perlitei (0,77% C), avînd o structură perlitică (fig. 4.24, *a*); *fonte cenușii ferito-perlitice,* unde concentrația carbonului legat este

Scanned with OKEN Scanner

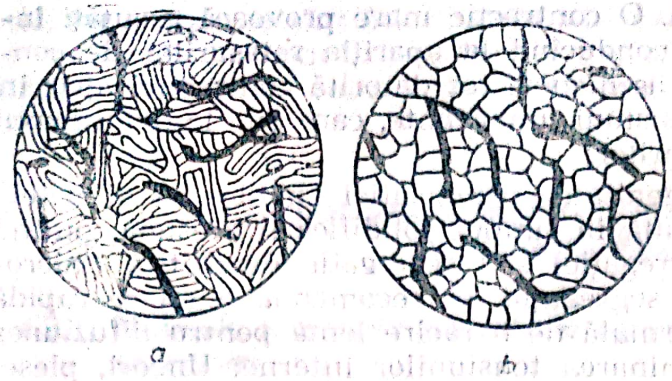


Fig. 4.24. Structura fontelor cenușii: *a* — perlitică; *b* — feritică.

sub 0,77%, masa metalică avînd o structură ferito-perlitică; *fonte cenușii feritice*, care datorită unui grad foarte ridicat de grafitizare, nu mai conțin carbon legat, masa metalică de bază avînd o structură feritică (fig. 4.24, *b*).

Din experiența practică au rezultat o serie de diagrame, pe baza cărora se pot realiza aliaje corespunzătoare ca structură și calitate. *Diagramele de structură* reprezintă variația structurii formate în funcție de conținutul de carbon, siliciu și grosimea pereților.

Astfel, în figura 4.25, *a*, se prezintă *diagrama Maurer*, din care rezultă structura pieselor turnate din fontă, pentru aceeași grosime a pereților, în funcție de conținutul în carbon și siliciu, neținînd cont de viteza de răcire. Diagrama este împărțită în trei domenii principale (*I* — fonte albe; *II* — fonte perlitice cu cele mai bune caracteristici mecanice și cu o bună prelucrabilitate; *III* — fonte feritice, prea moi și cu rezistență mecanică redusă) și două de tranziție (II, *a* fonte pestrițe; II, *b* fonte ferito-perlitice).

Fontele perlitice, care sînt cele mai utilizate la fabricarea pieselor turnate de mașini, au proprietățile mecanice optime, deoarece masa metalică de bază la acest conținut de circa 0,77% C are rezistența mecanică maximă (v. și fig. 3.64. din paragraful 3.2.4.3.). La fontele cenușii de turnătorie, prin alegerea corespunzătoare a conținutului de C și Si, se caută să se realizeze această structură optimă. Ca exemplu, din figura

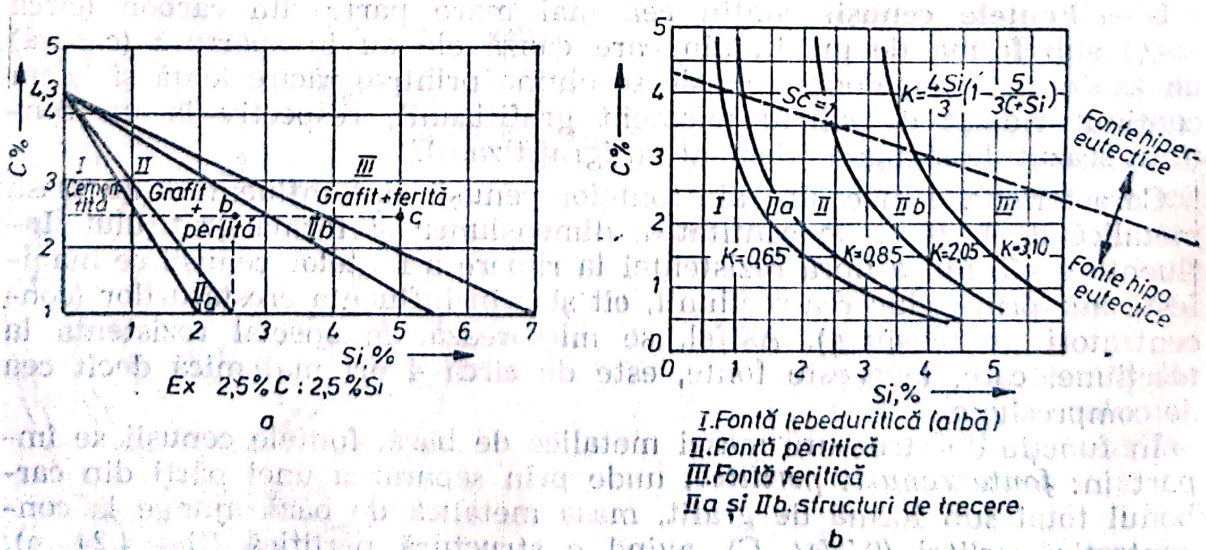


Fig. 4.25. Diagramele structurale ale fontelor în funcție de conținutul de C și Si.

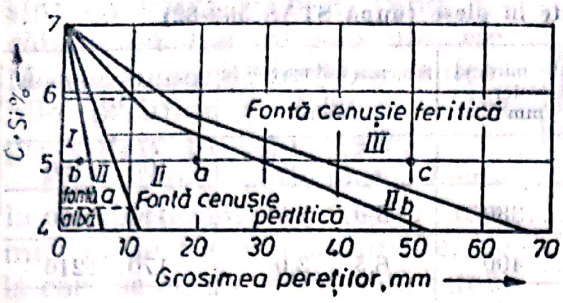


Fig. 4.26. Diagrama structurală a fontelor în funcție de grosimea pereților.

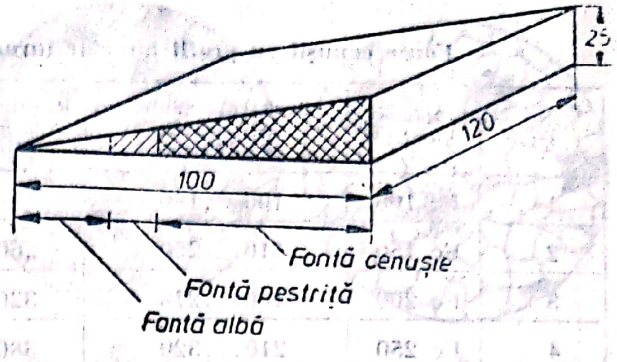


Fig. 4.27. Probă pană pentru verificarea structurii fontelor.

4.25, *a* se constată că un aliaj cu 2,5% C, dacă are 2,5% Si, este o fontă perlitică, iar la 5% Si deja are o structură feritică, necorespunzătoare.

Diagrama structurală din figura 4.25, *b* este o variantă îmbunătățită a diagramei Maurer, care redă mai bine realitatea, în special în domeniul fontelor cu un conținut mai ridicat de carbon.

O diagramă ceva mai completă este cea a lui *Greiner—Klingenstein* (fig. 4.26), care ține seama și de *viteza de răcire*, pe abscisă fiind grosimea pereților în mm, iar pe ordonată suma conținuturilor de carbon și siliciu. Domeniile diagramei sînt aceleași, deoarece creșterea grosimii pereților (micșorarea vitezei de răcire) are, ca și creșterea conținutului de siliciu, un rol grafitizant.

Deoarece aceste dagrame nu pot ține cont de toți factorii care influențează structura, rezultatele lor sînt aproximative. Se recomandă ca din aliajul elaborat să se toarne probe în formă de pană (fig. 4.27) unde grosimea „peretelui" variază continuu. Prin ruperea probei și examinarea casurii, se poate verifica, dacă compoziția fontei a fost determinată corect, putîndu-se efectua înaintea turnării pieselor corecturile necesare a compoziției șarjei.

În fontele cenușii *sulful* micșorează fluiditatea, mărește contracția, favorizînd formarea crăpăturilor la rece, mărește duritatea și fragilitatea. Ca și manganul, sulful are rol antigrafitizant. *Prezența fosforului* în fontele cenușii nu influențează grafitizarea, ci numai structura bazei metalice prin apariția eutecticului fosforos, dur și fragil. Fosforul îmbunătățește fluiditatea, micșorează contracția și mărește tendința de formare a segregațiilor, însă scade mult proprietățile mecanice ale fontelor cenușii. Din acest motiv, din fontele cenușii cu mult fosfor se execută numai obiecte de artă (statui, ornamente etc.) și nu piese de mașini.

În fontele aliate elementele introduse pînă la 5%, în general, nu modifică structura fontei, dar îmbunătățesc proprietățile mecanice ale masei metalice de bază și contribuie la realizarea unei structuri mai fine a grafitului.

Fontele cenușii nealiate, cu grafit lamelar pentru turnătorie sînt standardizate în STAS 568—82, avînd simbolul Fc urmat de valoarea rezistenței minime de rupere la tracțiune R_m, în N/mm². Fontele Fc 100 și Fc 150 sînt destinate turnării pieselor cu rezistență mecanică mică (console, unele batiuri de mașini etc.). Fontele Fc 200 și Fc 250 se folosesc la turnarea pieselor cu rezistență mecanică medie și mare, iar fontele Fc 300, Fc 350 și Fc 400 sînt destinate turnării pieselor puternic soli-

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 4.2

Fonte cenușii cu grafit lamelar turnate în piese (după STAS 568-82)

Nr. crt.	Marca fontei	Rezistența minimă la tracțiune R_m [N/mm²]	Rezistența minimă la încovoiere R_i [N/mm²]	Săgeata la încovoiere f [mm]	Duritatea Brinell [HB]
1	Fc 100	100...160	—	—	100...150
2	Fc 150	110...250	260...330	6,0...2,0	140...190
3	Fc 200	160...270	320...400	6,5...2,0	170...210
4	Fc 250	210...320	380...450	7,0...3,0	180...240
5	Fc 300	250...330	440...470	7,5...5,5	200...260
6	Fc 350	330...370	500...530	7,5...5,5	210...280
7	Fc 400	350...400	560...590	7,5...5,5	230...300

citate, cu rezistență mecanică foarte mare. Sînt standardizate cele 7 mărci amintite (tab. 4.2.).

c — Fontele maleabile (STAS 569—79) sînt fonte albe turnate în piese și apoi supuse unui *tratament termic numit maleabilizare* prin care materialul își pierde fragilitatea și parțial duritatea devenind astfel foarte rezistente la tracțiune (pînă la 700 N/mm²), tenace, ușor uzinabile și în mică măsură chiar forjabile. Se deosebesc două tipuri de fonte maleabile:

— *fonta maleabilă cu inimă neagră* cea mai utilizată, se obține împachetînd piesele turnate și curățite în oalele (lăzile) de maleabilizare (bine etanșate) în mediu neutru (nisip cuarțos), care sînt apoi încălzite la temperatura de 950°C timp de 100...150 ore (4...6 zile!). Cementita se descompune total, inclusiv cea eutectoidă, masa metalică de bază devenind feritică. Procesul decurge după diagrama dată în figura 4.28, curba *a*, deosebindu-se cinci perioade: încălzirea pînă la circa 950°C; menținerea la această temperatură pentru descompunerea cementitei din eutectic în grafit și austenită; răcirea pînă la circa 750°C; răcirea încetează la trecerea prin punctul critic Ar_1 pentru descompunerea cementitei eutectoide în ferită și grafit; răcirea finală pînă la temperatura ambiantă. Această fontă în spărtură are o culoare neagră datorită cantității mari de aglomerări de grafit;

— *fonta maleabilă cu inimă albă* se obține prin maleabilizarea pieselor într-un mediu oxidant (oxid de fier). Procesul decurge după diagrama din figura 4.28, curba *b*, în care se deosebesc trei perioade: încălzirea pînă la 900...950°C; menținerea la această temperatură; răcirea pînă la temperatura ambiantă. Cementita eutectoidă nedescompunîndu-se, structura va fi perlitică sau perlito-feritică, cu aglomerări de grafit. Aceste fonte, avînd masa metalică de bază perlitică, au o rezistență mecanică superioară fontelor maleabile cu inimă neagră.

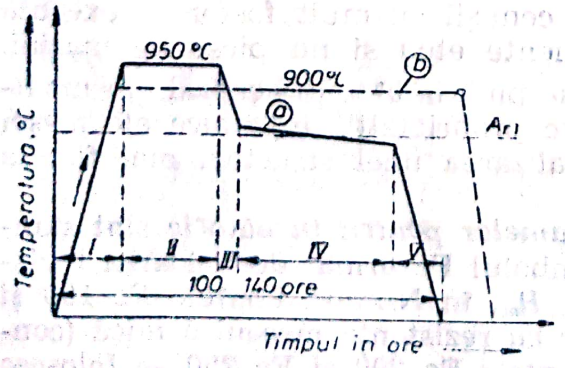


Fig. 4.28. Diagrama cu curbele temperatură-timp la maleabilizarea fontelor: *a* — cu inimă neagră; *b* — cu inimă albă.

Cuptoarele de maleabilizare sînt cu vatră mobilă, fiind încălzite cu flacără sau electric. Microstructurile fontelor maleabile perlitice și feritice sînt prezentate în figura 4.29.

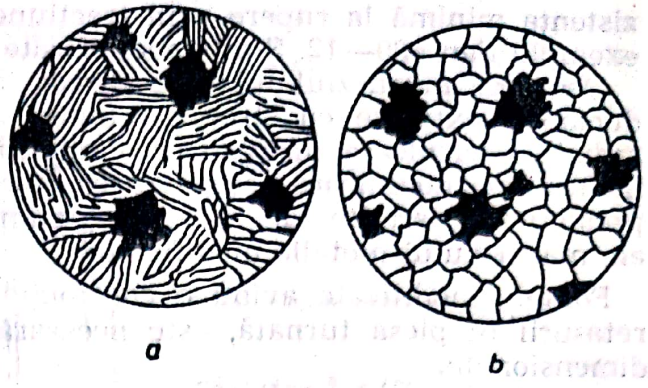


Fig. 4.29. Microstructurile fontelor maleabile: *a* — perlitice; *b* — feritice.

Fontele maleabile sînt folosite la confecționarea pieselor mai mici și de forme complicate, de la care se cere o rezistență bună, o anumită tenacitate și o rezistență ridicată la șocuri. Duritatea redusă nu permite însă fabricarea pieselor care să aibă totodată și o bună rezistență la uzare. Se execută din fontă maleabilă piese folosite, mai ales, în construcția de mașini textile, mașini agricole, în transporturi, pentru armături etc.

Simbolizarea fontelor maleabile standardizate se face prin grupul de litere Fm, urmat de litera: n — neagră; p — perlitică; a — albă, apoi valoarea minimă a rezistenței la tracțiune în N/mm² (de exemplu Fmp 500). Sînt standardizate 12 mărci. Rezultate foarte bune se obțin adăugînd fontelor maleabile cantități mici de Bi, B sau Mg.

d — Fontele modificate sînt fontele care se tratează în stare lichidă cu mici adaosuri, denumite *modificatori*, în vederea îmbunătățirii caracteristicilor mecanice. Aceste adaosuri formează particule insolubile în aliajul lichid și servind drept centre de cristalizare, se formează un grafit fin și uniform dispersat. Se deosebesc două categorii de fonte modificate:

— *fontele modificate cu grafit lamelar* se obțin prin adăugare în oală, înainte de turnare, sau în jetul de metal lichid, ca modificatori, cantități mici de ferosiliciu, silicocalciu sau modificatori complecși. Prin modificare fonta obține caracteristici mecanice superioare ca urmare a structurii sale perlitice cu grafit lamelar fin.

Fontele modificate au contracție mai mare (1,4 . . . 1,6%) și necesită o temperatură de turnare mai ridicată, de circa 1400°C. Turnarea trebuie să se facă imediat după modificare, întrucît efectul modificării dispare în timp de aproximativ 15 minute;

— *fontele modificate cu grafit nodular* se obțin tratînd fonta lichidă cu ceriu, magneziu sau aliaje pe bază de magneziu, în proporție de pînă la 1%. Se realizează astfel o cristalizare a grafitului sub formă aproape sferică (nodulară). Datorită formei grafitului, proprietățile acestor fonte sînt superioare tuturor fontelor cunoscute, apropiindu-se foarte mult de proprietățile oțelurilor. Structura masei metalice de bază este perlitică, ferito-perlitică sau feritică (fig. 4.30), în funcție de condițiile de turnare și de tratamentul termic aplicat ulterior.

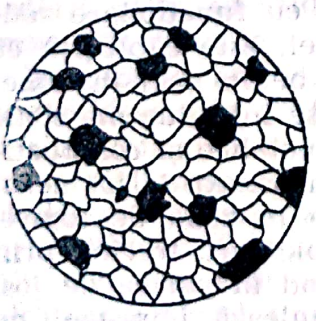


Fig. 4.30. Microstructura fontei modificate feritice cu grafit nodular.

Fontele cu grafit nodular sînt fonte de înaltă rezistență, avînd minim 370 . . . 700 N/mm². Ele sînt standardizate (STAS 6071—75), fiind notate cu literele Fgn, urmate de cifrele care indică re-

zistența minimă la rupere prin tracțiune (N/mm²) și alungirea în %, de exemplu Fgn 400—12. Sînt standardizate 6 mărci.

Deoarece magneziul introdus direct în fonta lichidă se aprinde, producînd o explozie cu stropirea fontei topite și o lumină puternică cu radiații periculoase, introducerea modificatorului se face într-o cameră închisă de nodulizare, manevrarea făcîndu-se din exterior. Utilizarea prealiajelor permite, de asemenea, eliminarea principalelor dezavantaje ale magneziului metalic modificator.

Fontele modificate avînd o contracție mare, pentru a evita formarea retasurii în piesa turnată, este necesară aplicarea unor *maselote* corect dimensionate.

e — **Fontele aliate** sînt folosite pentru scopuri speciale, cînd se cer proprietăți mecanice foarte bune sau alte proprietăți deosebite ca: refractaritate, rezistență la coroziune, rezistență mare la uzare, proprietăți magnetice deosebite etc. Alierea se face în funcție de scopul urmărit cu Ni, Cr, Mo, V etc.

Fontele refractare (STAS 6706—79), sînt fonte aliate cu crom, siliciu și aluminiu, utilizate pentru piese turnate care lucrează la temperaturi între 400 și 1100°C și care necesită rezistență la creșterea în volum și la oxidare. Ele sînt notate cu simbolul Fr, urmat de simbolul și procentul mediu al elementului principal de aliere (de exemplu Fr Cr 16, cu 16% Cr). Sînt standardizate 11 mărci.

4.2.4. Elaborarea fontelor de turnătorie

Cele mai întrebuințate agregate de topire și elaborare a fontei, sînt: cubilourile, cuptoarele cu flacără, cuptoarele cu creuzet și cuptoarele electrice.

Ca materii prime la elaborarea fontelor de turnătorie, numite și fonte de a doua fuziune, se folosesc: fonte brute de primă fuziune, deșeuri de fontă, deșeuri de oțel (folosite pentru reducerea prin diluare a conținutului de carbon și siliciu) și feroaliaje (pentru a mări conținutul de siliciu sau mangan a fontelor sau pentru a realiza alierea fontelor cu Cr, Mo, V etc.).

Cubiloul reprezintă încă un agregat răspîndit de topire, folosit în turnătoriile de fontă și aceasta datorită construcției sale relativ simple și ieftine, ușurinței în exploatare și posibilității de obținere a unei fonte lichide cu compoziția chimică și temperatura dorită.

Cubiloul are forma unui cuptor cilindric vertical, cu funcționare continuă (fig. 4.31). Mantaua metalică, din tablă de oțel, este căptușită cu cărămizi de șamotă și se sprijină pe o fundație de beton prin intermediul a patru stîlpi metalici. Prin gura de încărcare se introduc materiile prime formate din straturi alternante de materiale metalice și combustibil, plus fondanți. Prin gurile de aer se introduce în partea de jos aerul necesar arderii combustibilului. Topirea se produce în zona de topire, deasupra gurilor de aer. Metalul topit se scurge în picături, trecînd prin patul de cocs și prin zona gurilor de aer, pătrunzînd în partea de jos, sub nivelul acestora, în creuzet. Aici, fie că se acumulează, împreună cu zgura topită, în creuzetul cubiloului, fie că se scurge continuu în *antecreuzet*, de unde produsele se evacuează discontinuu în oala de zgură, respectiv de turnare.

Scanned with OKEN Scanner

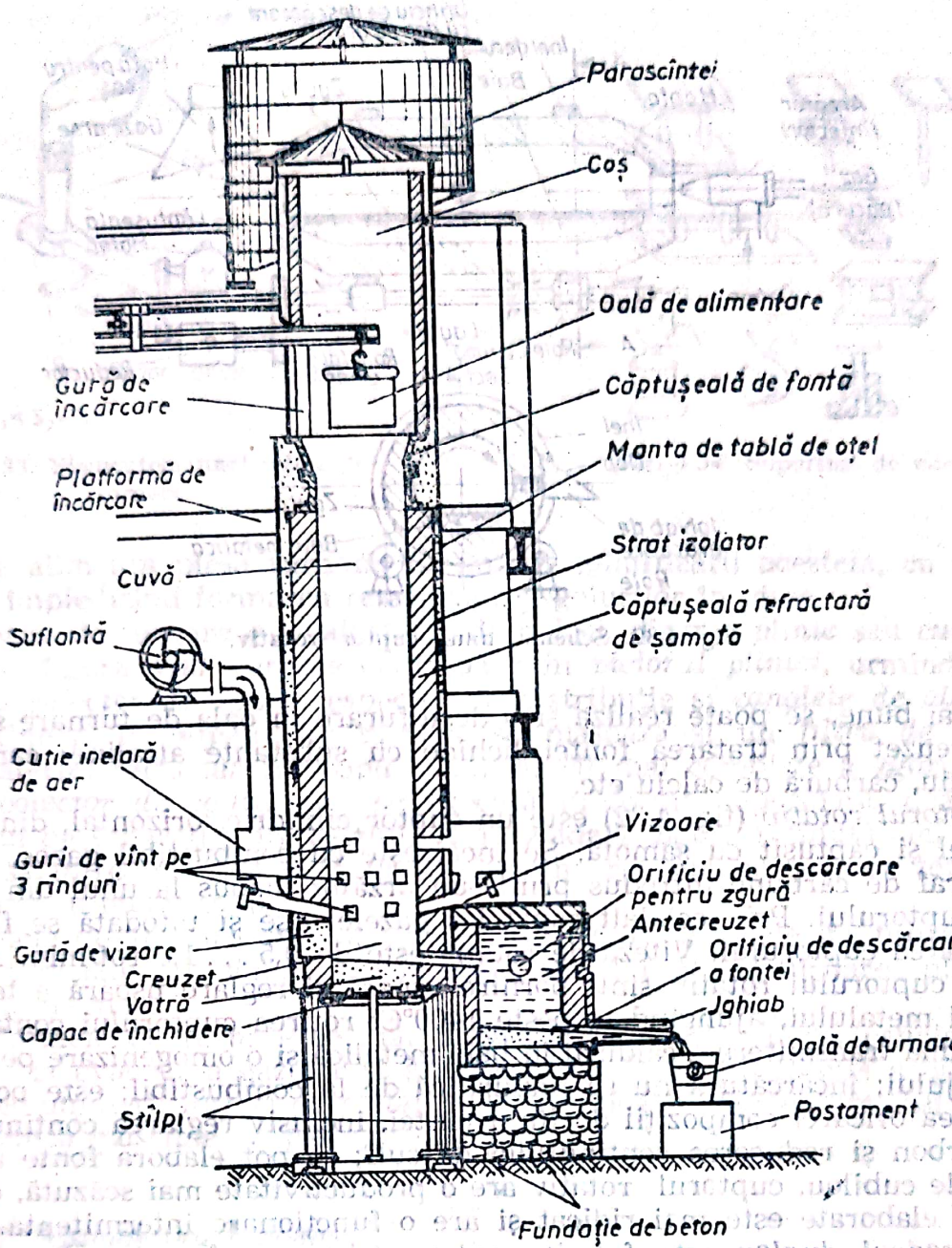


Fig. 4.31. Secțiune printr-un cubilou cu antecreuzet.

La unele cubilouri moderne se folosește preîncălzirea aerului necesar arderii, utilizînd căldura gazelor arse. De asemenea, se poate lucra cu aer îmbogățit cu oxigen.

În cubilou are loc un proces de diluare în stare lichidă între fonta brută, deșeurile de fontă și deșeurile de oțel, însoțit de o slabă oxidare a siliciului și a manganului. Carbonul se oxidează și el, dar în timpul traversării patului de cocs incandescent de la baza cuptorului, fonta lichidă se recarburează. Reducerea conținutului de fosfor se obține numai prin diluare. Conținutul de sulf, în general, crește din cauza sulfului din cocs. În vederea elaborării unei fonte cu compoziția prescrisă, la alcătuirea șarjei trebuie să se ia în considerare că, în urma procesului metalurgic din cubilou, conținutul de siliciu scade cu 10 . . . 15%, cel de Mn scade cu 15 . . . 20%, cel de carbon și fosfor rămîn aproape constante, iar cel de sulf crește cu 40 . . . 50%. Pentru a obține fonte cu caracteris-

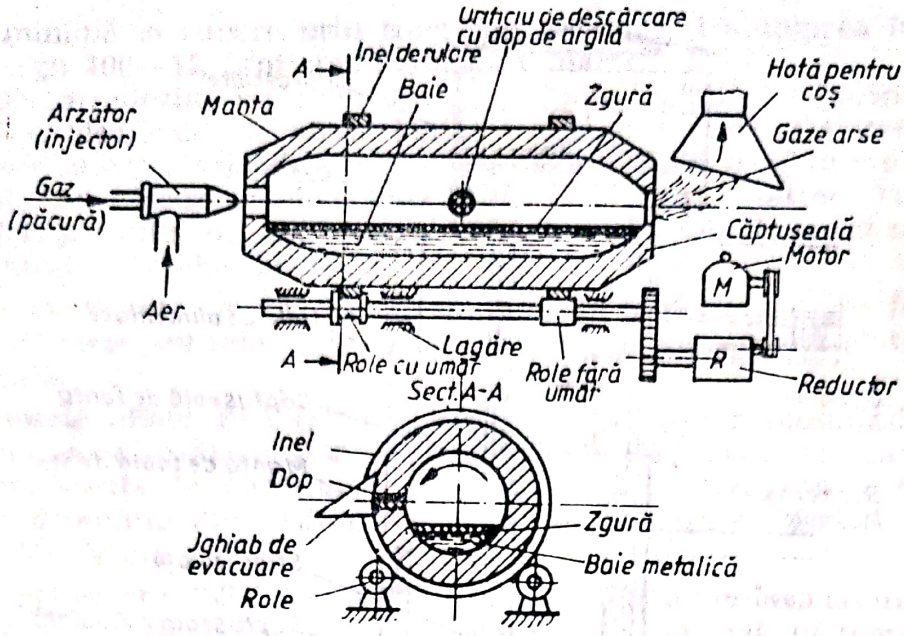


Fig. 4.32. Schema unui cuptor rotativ.

tici mai bune, se poate realiza și o desulfurare în oala de turnare sau în antecreuzet prin tratarea fontei lichide cu substanțe alcaline: carbonat de sodiu, carbură de calciu etc.

Cuptorul rotativ (fig. 4.32) este un cuptor cilindric, orizontal, din tablă de oțel și căptușit cu șamotă. Se încălzește cu combustibil gazos, lichid sau praf de cărbune introdus printr-un arzător dispus la unul din capetele cuptorului. Prin celălalt capăt ies gazele arse și totodată se face și încărcarea cuptorului. Viteza de rotație este de 0,5 . . . 1,0 rot/min. Avantajele cuptorului rotativ sînt: pornire ușoară și reglare ușoară a temperaturii metalului, ajungînd la peste 1400°C; rotirea cuptorului contribuie la o bună transmitere a căldurii în baia metalică și o omogenizare perfectă a aliajului; încărcătura nu se impurifică de la combustibil; este posibilă reglarea oricărei compoziții dorite a fontei, inclusiv reglarea conținutului de carbon și reducerea conținutului de sulf; se pot elabora fonte aliate. Față de cubilou, cuptorul rotativ are o productivitate mai scăzută, costul fontei elaborate este mai ridicat și are o funcționare intermitentă.

Procedeul duplex este folosit pentru elaborarea fontelor de calitate superioară și constă din topirea fontei în cubilou și apoi supraîncălzirea și alierea ei în cuptor rotativ sau într-un cuptor electric.

Cuptoarele electrice cu inducție, datorită avantajelor pe care le prezintă și în urma faptului că permit elaborarea unor aliaje de turnătorie de calitate superioară, se extind din ce în ce mai mult în turnătoriile moderne (v. cap. 2), înlocuind cubilourile și cuptoarele rotative.

4.3. TURNAREA METALULUI ÎN FORME

4.3.1. Rețele de turnare

Prin rețea de turnare se înțelege totalitatea elementelor formei care servesc la introducerea metalului lichid în cavitatea formei. Rețelele de turnare mai au și rolul de a reține zgura din metalul turnat în formă

Scanned with OKEN Scanner

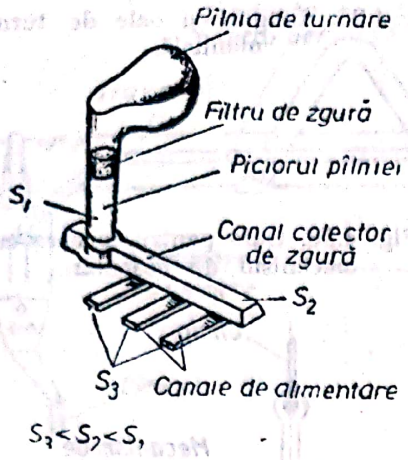


Fig. 4.33. Elementele unei rețele de turnare.

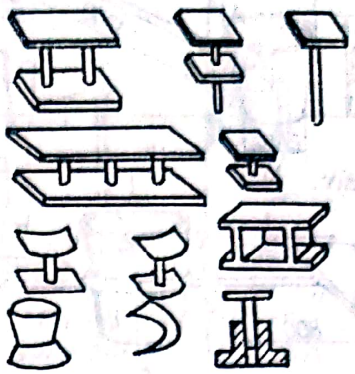


Fig. 4.34. Suporturi de miez.

și de a alimenta piesa turnată, în timpul solidificării acesteia, cu metal lichid, împiedicînd formarea retasurilor și golurilor în piese.

Rețeaua de turnare este alcătuită de obicei, dintr-o *pîlnie* sau *cupă de turnare*, figura 4.33, care se continuă prin *piciorul pîlniei*, urmînd apoi *canalul colector de zgură* respectiv de distribuție și *canalele de alimentare*. Uneori în rețeaua de turnare se plasează și un *filtru de zgură* din material refractar în scopul reținerii cît mai complete a zgurii. *Canalul colector de zgură* care se execută în forma superioară, deasupra planului de separație, are secțiune trapezoidală. Zgura reținută aici poate totuși să intre în piesă dacă nu se menține rețeaua de turnare tot timpul plină cu metal topit.

Rețelele de turnare sînt de numeroase tipuri. Rețelele de turnare cu alimentare laterală, simplă sau în etaje, sînt folosite la turnarea pieselor de înălțime mare.

La formele de turnare se mai prevăd *răsuflătoare*, adică, canale care servesc la evacuarea gazelor și a aerului din cavitatea formei și la constatarea umplerii formei cu metal topit. Sistemul de alimentare mai poate cuprinde și *maselote* (v. paragraful 4.6.1).

4.3.2. Asamblarea formelor

Înainte de a închide definitiv formele, se îndepărtează toate impuritățile din cavitatea formei și din rețeaua de turnare, se fixează în formă miezurile și apoi se montează forma superioară. Uneori se mai folosesc și *suporturi de miez* (fig. 4.34) confecționate din tablă sau sîrmă de oțel cositorit.

4.3.3. Turnarea metalului în forme

Aliajele topite sînt transportate la formele pregătite pentru turnare, cu ajutorul oalelor de turnare căptușite în interior cu material refractar. Înaintea umplerii cu metal lichid, oalele trebuie să fie bine uscate și preîncălzite (pericol de explozie). Se deosebesc: linguri și oale manuale (fig. 4.35), oala de macara (fig. 4.36), oale cu perete despărțitor pentru reținerea zgurii (fig. 4.37) etc.

Scanned with OKEN Scanner

← Fig. 4.35. Linguri și oale de turnare manuală.

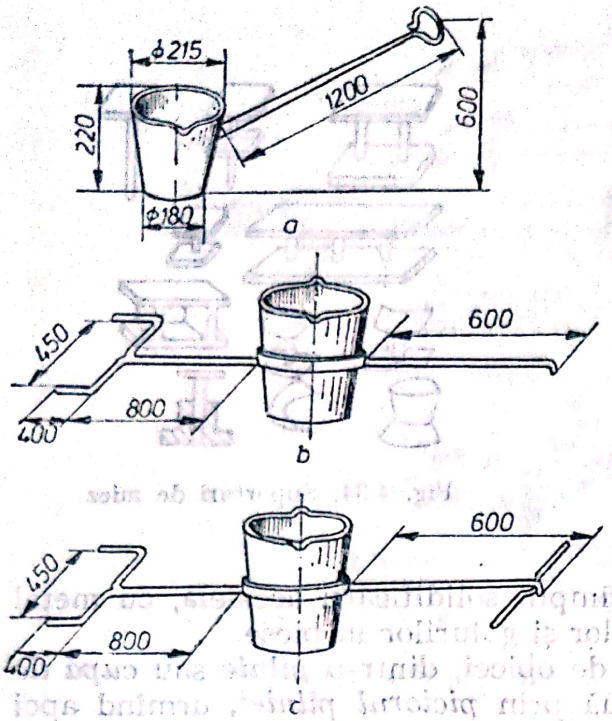
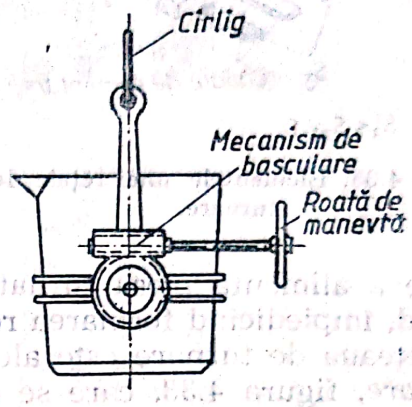


Fig. 4.36. Oală pentru macara cu mecanism de basculare.



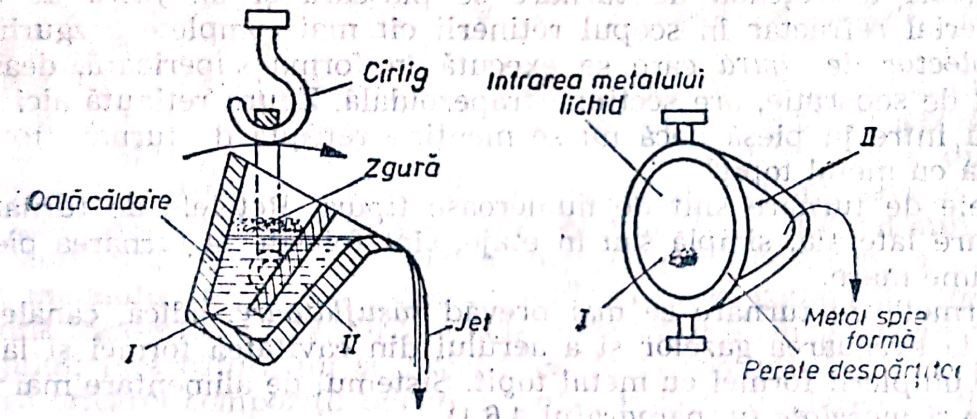


Fig. 4.37. Oală de turnare cu perete despărțitor pentru reținerea zgurii.

4.4. DEZBATEREA, CURĂȚIREA ȘI TRATAMENTUL TERMIC AL PIESELOR TURNATE

4.4.1. Dezbaterea pieselor turnate

Dezbaterea se execută manual la producția individuală sau la piese de dimensiuni mari și pe instalații mecanizate la producția de serie mare și în masă.

În figura 4.38 este dată schema unei *traverse vibratoare*, prevăzută cu două vibratoare pneumatice, de care se leagă forma cu două cîrlige. Admisia aerului comprimat se face printr-o supapă comandată de un mîner. Sînt folosite la turnările de serie mică. Pentru producția de serie mare sînt utilizate *grătarele vibratoare* de dezbatere cu acționare pneumatică, grătarele mecanice, comandate cu excentric sau cu mase neechilibrate, precum și grătarele vibratoare electromagnetice. Cele mai

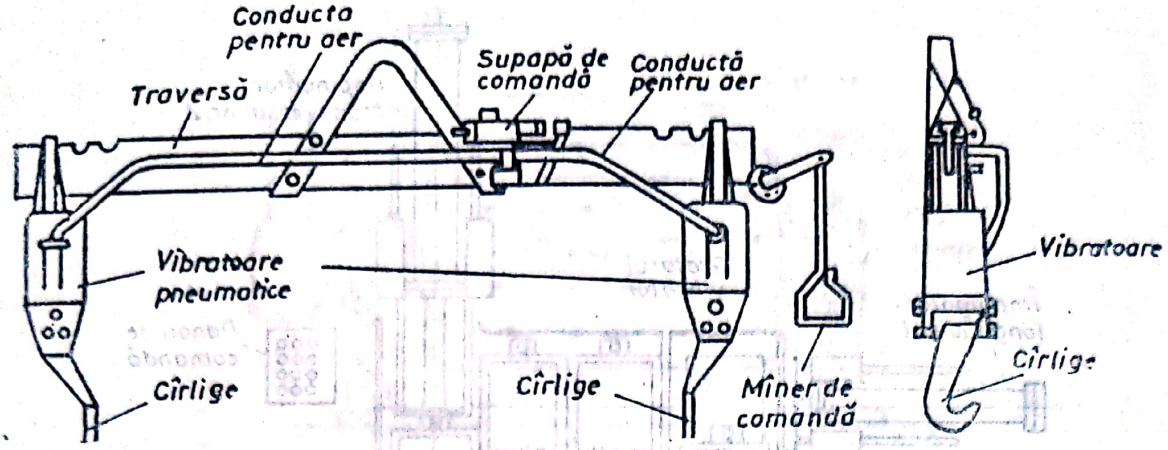


Fig. 4.38. Schema unei traverse vibratoare pneumatice.

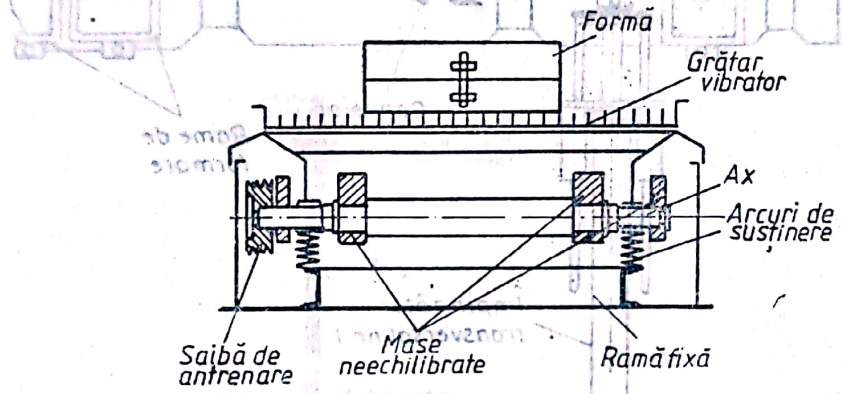


Fig. 4.39. Grătar vibrator de dezbatere cu mase neechilibrate.

simple și mai răspîndite sînt grătarele vibratoare cu mase neechilibrate aduse în mișcare rapidă de rotație (fig. 4.39). Mecanizarea dezbaterii într-o turnătorie modernă cu conveior, este prezentată schematic în figura 4.40. În figura 4.41 este dată schema unei instalații pneumatice de înlăturare *(dezbătere) a miezurilor* din piesele turnate în serie, de dimensiuni mai mari. Uneori se folosesc și procedee hidraulice.

4.4.2. Îndepărtarea rețelelor de turnare

Îndepărtarea rețelelor de turnare se practică manual, cu ajutorul dăltițor pneumatice la metale fragile (fontă), sau mecanic prin ghilotinare cu foarfece sau fierăstraie mecanice. La piesele de oțel această operație se face prin tăiere oxiacetilenică. Uneori se folosesc și mașini de frezat semiautomate.

4.4.3. Curățirea pieselor turnate

Curățirea manuală a pieselor turnate se execută cu peria de sîrmă și cu dalta de mînă sau pneumatică.

Curățirea mecanizată se realizează în diferite variante. Piesele mici se curăță în *tobe rotative* (fig. 4.42), folosind frecările dintre ele și alicele

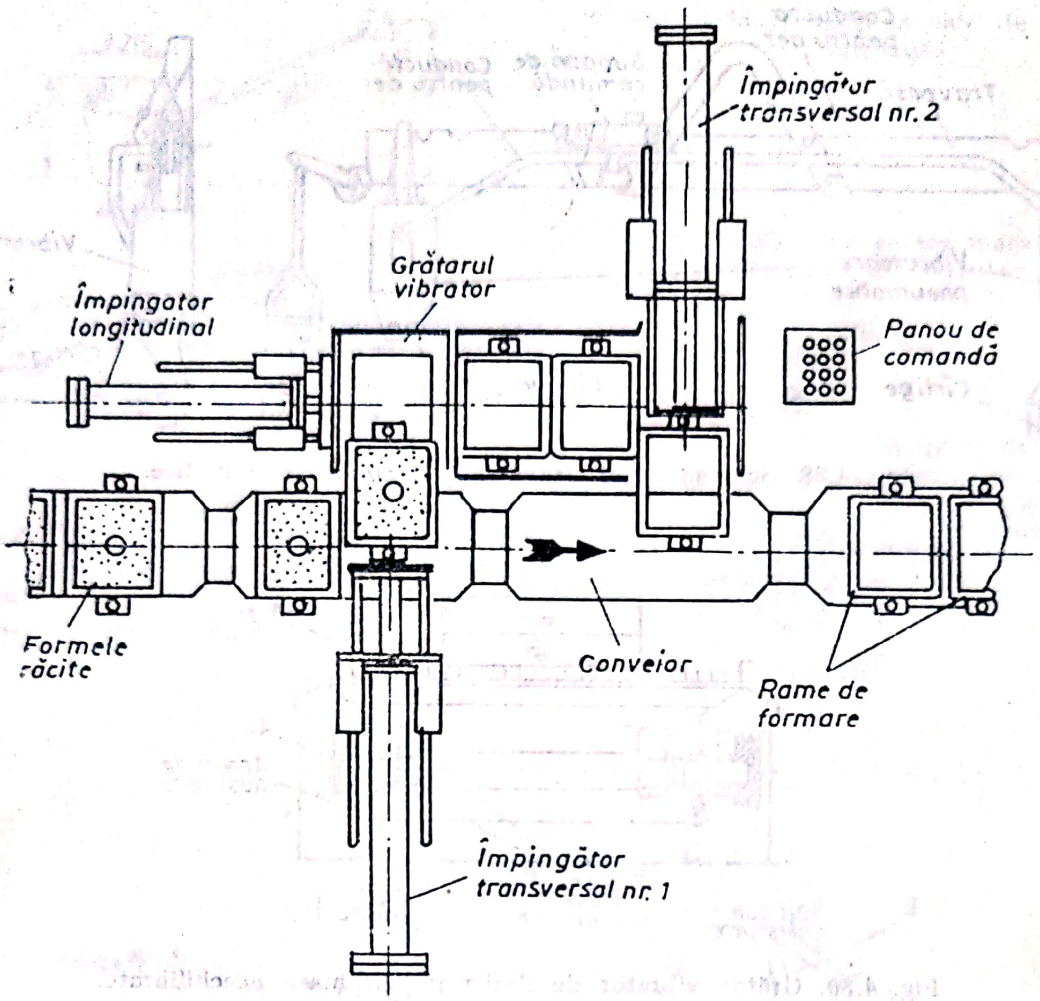


Fig. 4.40. Mecanizarea dezbaterii într-o turnătorie cu conveior.

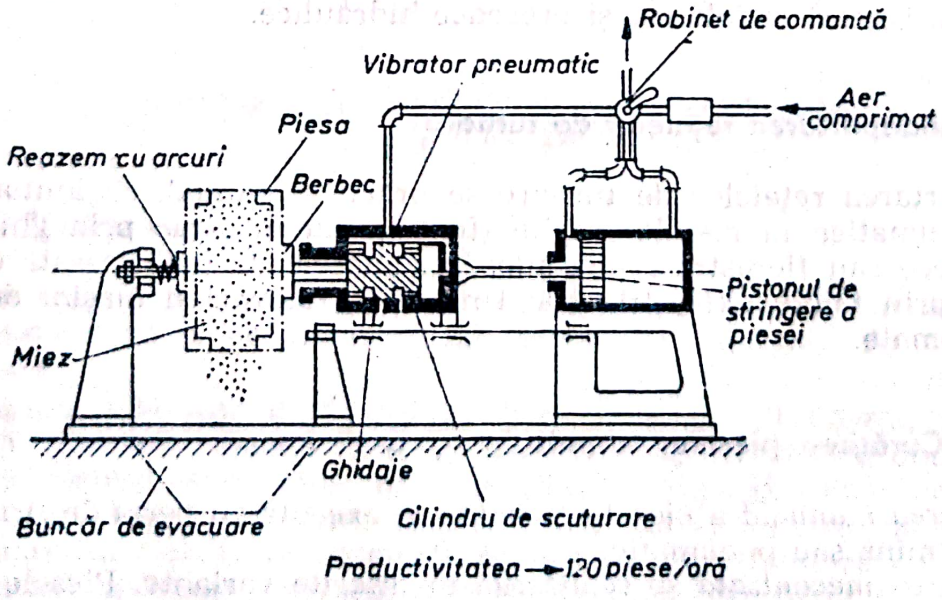


Fig. 4.41. Mașină pneumatică de înlăturare a miezurilor.

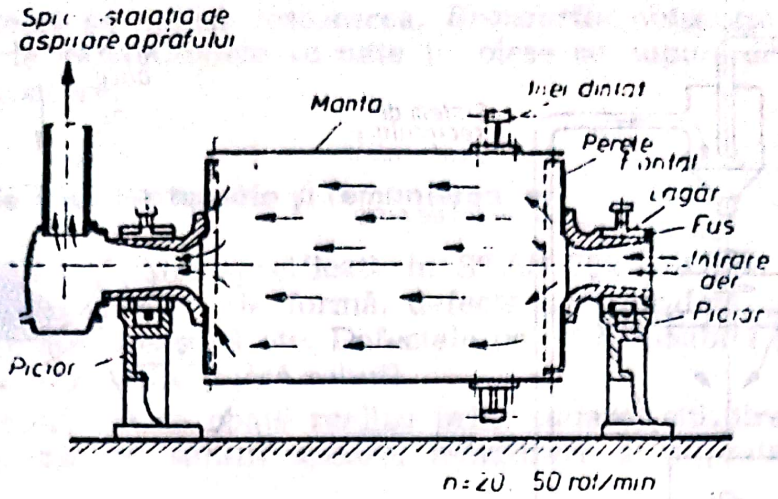


Fig. 4.42. Toba rotativă de curățire a pieselor turnate.

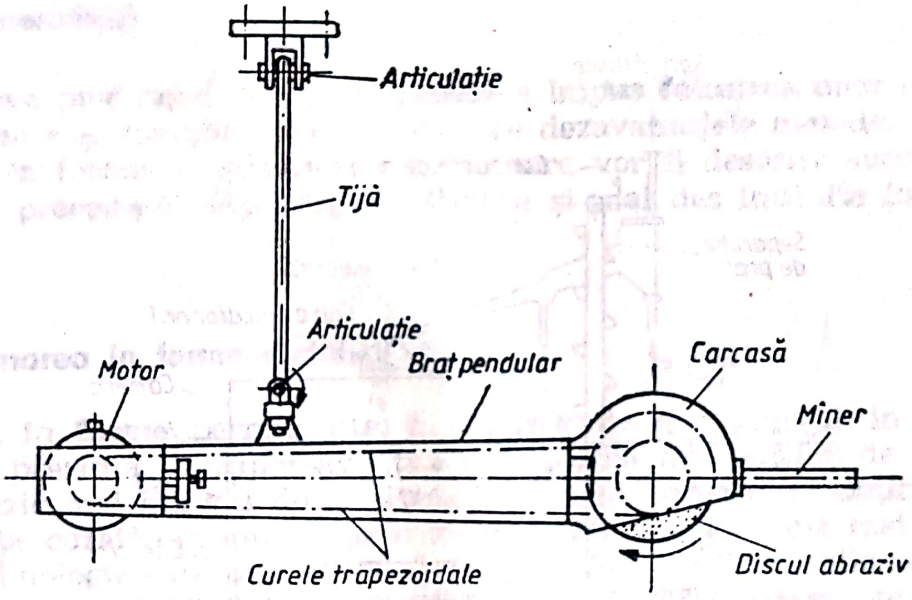


Fig. 4.43. Polizor pendular pentru curățirea pieselor turnate.

sau steluțele din fontă albă, introduse în tobe. La piesele milocii sau mai mari, se folosesc polizoarele pendulare (fig. 4.43), suspendate prin articulații, polizoarele cu ax flexibil sau polizoarele pneumatice.

Pentru curățirea suprafețelor pieselor de amestecul de formare ars se folosesc diferite *instalații de sablaj*. Aici curățirea se datorește acțiunii mecanice, erozive a jetului de nisip sau de alice de fontă albă sau de oțel, cu care este înlocuit nisipul în instalațiile moderne. În figura 4.44 se dă schema de principiu a unei instalații de sablaj, iar în figura 4.45 schema unei instalații semiautomate de sablaj pentru piese mici. Figura 4.46 prezintă schema unei camere de curățire pentru piese mari, cu ajutorul alicelor aruncate de două turbine.

Se mai folosește curățirea hidraulică, pe cale chimică și electrochimică. Cele mai moderne agregate de curățire, cu productivitate ridicată, sînt *tunelele de curățire* echipate cu 2 . . . 6 aruncătoare de alice.

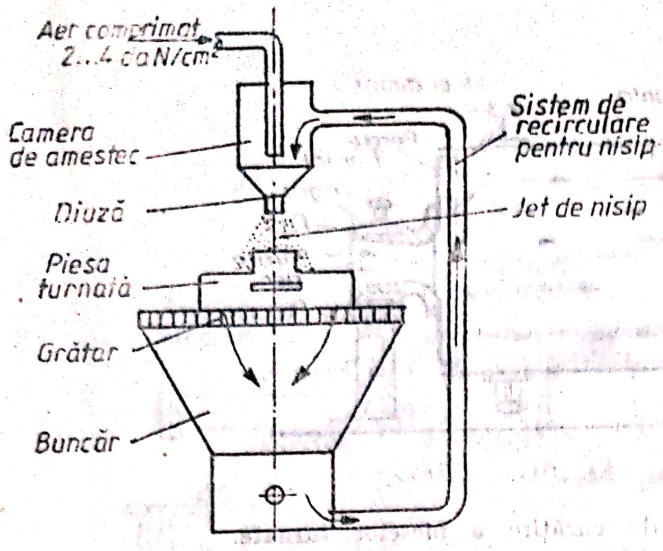


Fig. 4.44. Schema de principiu a unei instalații de sablaj.

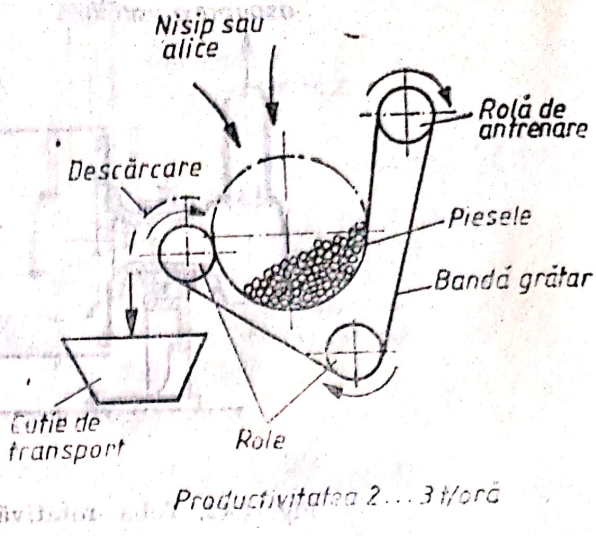


Fig. 4.45. Schema de principiu a unei instalații semiautomate de sablaj.

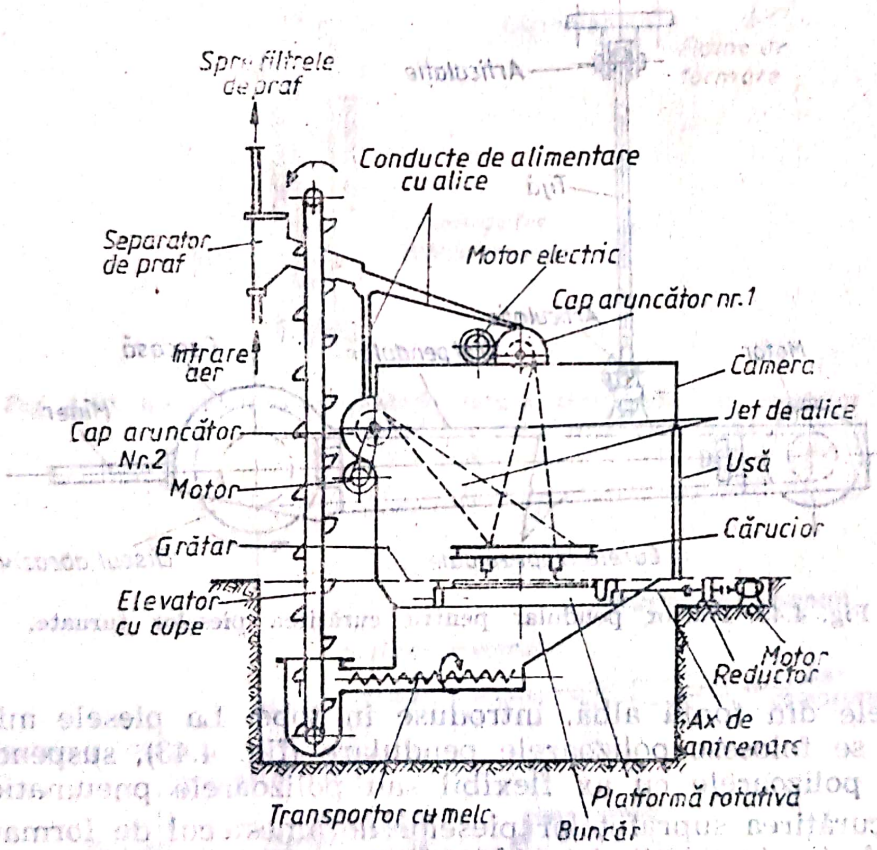


Fig. 4.46. Cameră de curățire prin sablaj cu alice.

4.4.4. Tratamentul termic al pieselor turnate

La piesele turnate *din fontă* se pot aplica recoaceri de detensionare, recoaceri de înmuiere, normalizarea și uneori călirea. Se mai aplică recoacerea de maleabilizare a pieselor turnate din fontă albă. *Piesele turnate din oțel* sînt supuse unui tratament de recoacere. *Piesele* turnate *din aliaje din Al și Mg* pot fi supuse unui tratament de călire urmată de

Scanned with OKEN Scanner

îmbătrînire. Uneori se aplică recoacerea. *Bronzurile* obișnuite sînt tratate termic foarte rar. *Alamele* turnate în piese se supun uneori unui tratament de recoacere.

4.4.5. Defectele pieselor turnate și remanierea lor

Defectele pieselor turnate specificate în STAS 782—79 pot fi: goluri, incluziuni, crăpături, abateri de formă, defecte de suprafață, abateri de la compoziția chimică prescrisă etc. Defectele pot fi admisibile (cu și fără remaniere) sau neadmisibile (piesă rebut).

Remanierea defectelor se poate realiza prin: sudare, chituire, impregnarea piesei poroase cu soluții apoase, metalizare și supraturnare.

4.5. METODE SPECIALE DE FORMARE ȘI TURNARE

4.5.1. Generalități

Dezvoltarea producției de serie și masă a impus folosirea unor metode noi de formare și turnare, care să înlăture dezavantajele metodei clasice de turnare în forme temporare. În continuare vor fi descrise succint cîteva dintre procedeele cele mai importante și mai des întîlnite în practică.

4.5.2. Turnarea în forme metalice

Turnarea în forme permanente, în comparație cu turnarea în forme temporare, prezintă multiple avantaje: reducerea adaosurilor de prelucrare, precizie mai mare a dimensiunilor pieselor turnate, se obțin piese cu suprafață curată, proprietățile mecanice ale pieselor sînt mai bune, procesul tehnologic este mai scurt și mai simplu, forma metalică rezistă la un număr mare de turnări, se reduce costul pieselor turnate, se îmbunătățesc condițiile de muncă din turnătorii. Turnarea în forme metalice este însă rentabilă numai la turnarea pieselor în serie sau masă. Ca dezavantaje amintim: costul mare de execuție a formei, dificultățile la turnarea pieselor cu pereți subțiri din cauza micșorării fluidității, tendința de formare a crăpăturilor datorită lipsei de compresibilitate și durificarea suprafețelor pieselor turnate din fontă datorită conductivității mari a formelor metalice. Deoarece lipsește permeabilitatea la gaze, în formele metalice trebuie executate canale și găuri speciale pentru evacuarea gazelor.

Pentru înlăturarea fenomenului de durificare a suprafețelor pieselor din fontă cenușie se aplică: încălzirea formelor, acoperirea pereților formei cu vopsea refractară, scoaterea pieselor din formă în stare caldă și apoi răcirea în aer liber.

Formele metalice se execută din două părți pentru piese de formă simplă și din mai multe părți demontabile, după planurile de separație, pentru piese mai complicate. Părțile formei se asamblează cu arcuri, cleme sau inele, folosind cepuri de ghidare cu precizie mare (fig. 4.47).

Scanned with OKEN Scanner

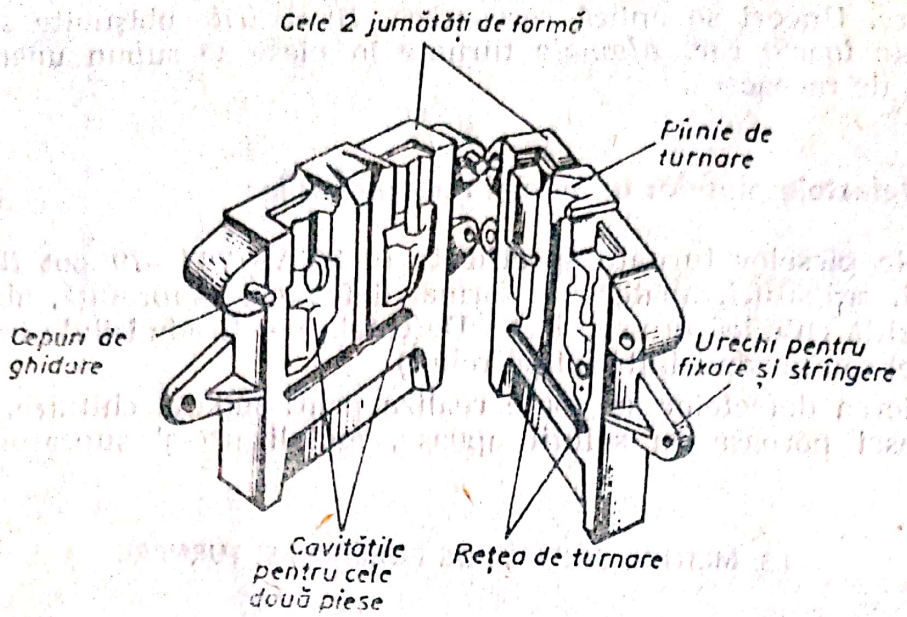


Fig. 4.47. Formă metalică (cochilă) din două părți.

Pentru obținerea golurilor interioare ale pieselor din fontă și oțel se folosesc, de obicei, miezuri din amestec de miez, iar la turnarea pieselor din aliaje neferoase, miezuri metalice. Cu scopul de a ușura scoaterea pieselor turnate din formele metalice, acestea pot fi prevăzute cu împingătoare (extractoare) acționate manual sau mecanic.

Formele metalice se execută din aliaje care pot suporta șocurile termice repetate și acțiune coroslivă a metalelor topite (fontă perlitică, fontă feritică, oțeluri aliate, rezistente la temperaturi ridicate, conținînd: Cr, Mo, Ni, V, grafitul și materiale metaloceramice). Din ce în ce mai mult se folosesc pentru confecționarea *formelor* metalice aliajele *de aluminiu*, atît pentru turnarea aliajelor neferoase, cît și pentru turnarea fontelor și a oțelurilor, dar suprafața lor activă se oxidează anodic la Al_2O_3, oxid cu refractaritate ridicată, care împiedică bine contactul direct dintre metalul lichid și materialul formei, iar conductivitatea termică ridicată a aluminiului nu permite supraîncălzirea formei peste limitele admise, chiar dacă se toarnă oțel la 1600°C. În cazul folosirii formelor de aluminiu, scoaterea piesei turnate din formă trebuie să se facă imediat după turnare și solidificare. Aceste forme sînt mult mai ieftine decît cele din oțeluri aliate, pot fi obținute și prin turnare și sînt rentabile chiar dacă rezistă numai la 200 . . . 300 turnări.

Formele de grafit se folosesc în special pentru turnarea unor piese de precizie cu proprietăți mecanice ridicate. *Formele metalo-ceramice*, introduse mai nou, pot înlătura numeroase neajunsuri existente la formele metalice clasice.

Aplicînd *metoda de vibrare a formelor metalice* în timpul turnării, se pot turna piese cu pereți subțiri, vibrațiile avînd influență favorabilă și asupra procesului de cristalizare și asupra caracteristicilor mecanice ale pieselor turnate.

4.5.3. Turnarea fontei cu crustă dură

La turnarea pieselor din fontă cu crustă dură sînt utilizate frecvent forme combinate, metalice în partea unde piesa trebuie să primească o crustă dură (răcire rapidă) și din amestec de formare în celelalte părți (răcire lentă, cu grafitizare normală). În figura 4.48 este prezentată o formă combinată pentru turnarea prin sifon a unui cilindru de laminor.

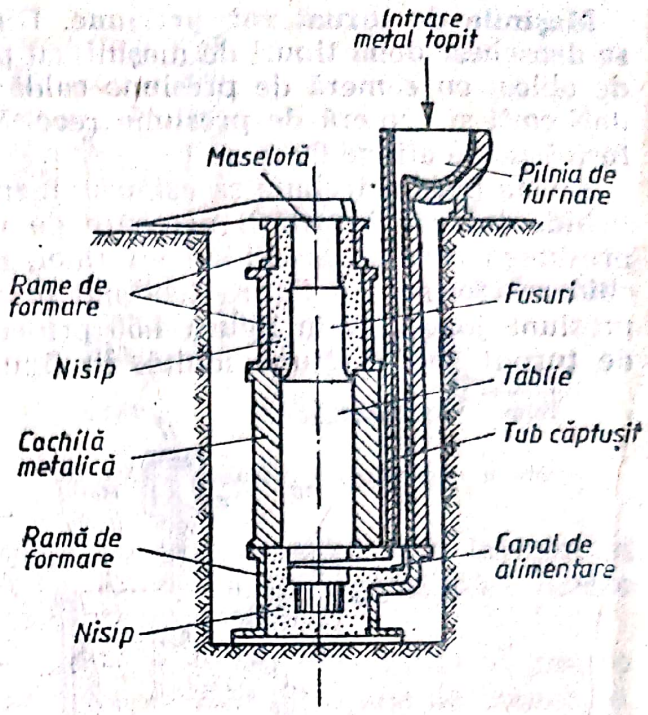


Fig. 4.48. Turnarea unui cilindru de laminor cu crustă dură.

4.5.4. Turnarea sub presiune

Această metodă constă în introducerea (injectarea) metalului lichid sub presiune în forme metalice. Formele (matrițele) sînt montate pe mașini speciale care realizează presiunile necesare.

Turnarea sub presiune este larg folosită la fabricarea în serie sau în masă a pieselor pentru industria electrotehnică, radiotehnică, mecanică fină, la fabricarea mașinilor de scris, a mașinilor de birou, în construcții de automobile (ex.: corpul de formă complicată a carburatoarelor), în construcția de avioane, diferite produse de larg consum etc.

Față de avantajele procedeului obișnuit de turnare în forme metalice, turnarea sub presiune mai prezintă și alte avantaje importante: realizarea unei precizii ridicate a dimensiunilor, ceea ce asigură o interschimbabilitate perfectă a pieselor; posibilitatea obținerii unor piese cu pereți subțiri și configurație complicată, reproducîndu-se și detaliile cele mai fine, filete interioare sau exterioare etc.; suprafețele pieselor sînt foarte netede și perfect curate; obținerea unei structuri compacte; se elimină complet posibilitatea apariției fisurilor, golurilor etc.; operațiile tehnologice pot fi ușor mecanizate și chiar complet automatizate.

Aliajele folosite la turnarea sub presiune sînt cele pe bază de zinc, urmînd apoi aliajele de aluminiu, mai puțin aliajele de cupru și de magneziu. Mai rar, și la presiuni joase, se toarnă și fonta.

Rezultatele cele mai bune se obțin în cazul pieselor cu pereți subțiri, cînd structura este fină, peretele este rezistent la uzare, durabilitatea piesei fiind mare. Un avantaj deosebit îl constituie posibilitatea turnării pieselor armate sau a celor bimetalice, turnate din aliaje ușoare (aluminiu, zinc), în combinație cu oțelul și alte aliaje cu duritate sau rezistență ridicată.

Matrițele (formele) se confecționează din oțel carbon de calitate și din oțel aliat refractar. Pentru mărirea durabilității suprafețelor de lucru, se aplică nitrurarea sau cromarea. Atît matrițele cît și miezurile sînt unse cu vopsele refractare pentru a se preveni sudarea și a reduce transmiterea căldurii.

Scanned with OKEN Scanner

Mașinile de turnat sub presiune. După presiunea utilizată la turnare se deosebesc două tipuri de mașini: cu presiuni joase (10 . . . 100 daN/cm²), de obicei cu cameră de presiune caldă; cu presiune înaltă (pînă la 2000 daN/cm²) și cameră de presiune rece. Viteza de injectare a metalului în formă poate atinge 60 m/s.

Aceste mașini trebuie să asigure: menținerea în stare caldă a metalului lichid, dozarea cantității necesare de metal, introducerea în formă sub presiunea cerută, deschiderea formei, scoaterea automată a piesei și închiderea formei. În figura 4.49 sînt prezentate trei principii de mașini cu presiune joasă, iar în figura 4.50 principiul de funcționare a unei mașini de turnat sub presiune înaltă. În figura 4.49, *a* este dată o mașină de

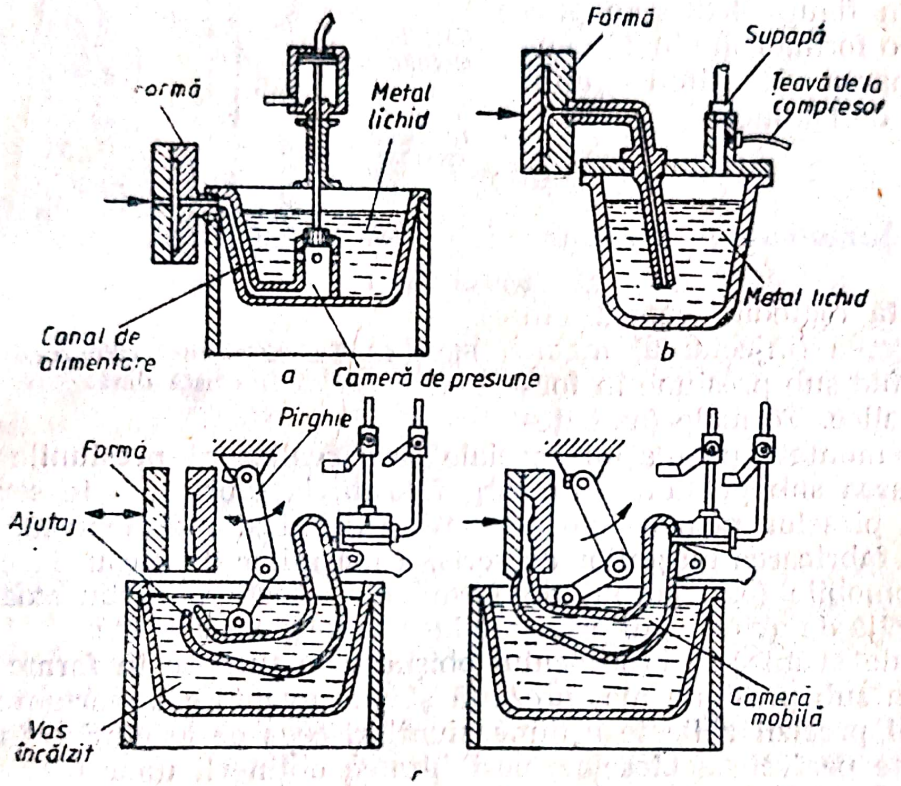


Fig. 4.49. Mașini de turnat sub presiune joasă.

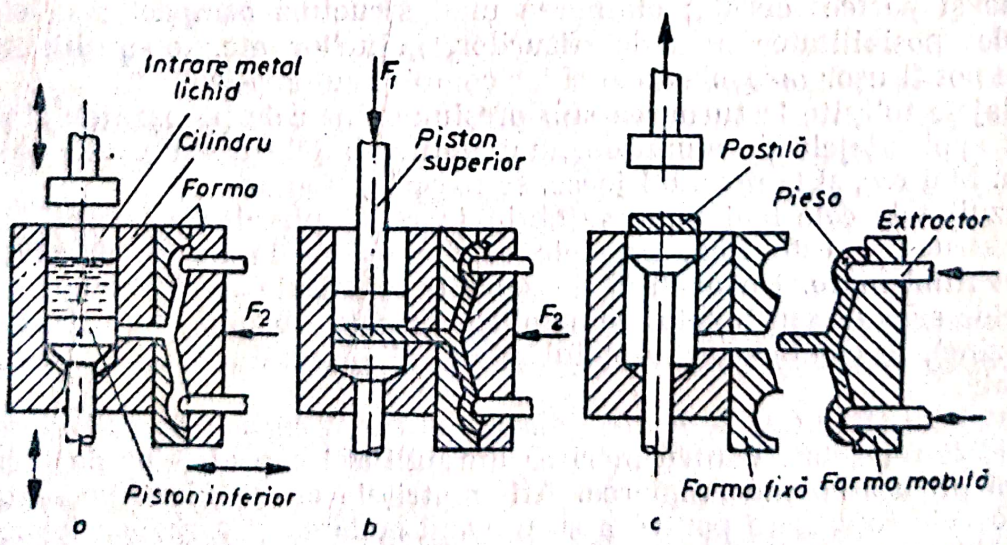


Fig. 4.50. Principiul de funcționare a unei mașini de turnat cu presiune înaltă.

turnat cu cilindru și piston, folosită pentru aliaje cu temperatura de turnare sub 500°C. Figura 4.49, *b* arată principiul unei mașini de turnat cu cameră de compresie fixă, care prezintă dezavantajul unei suprafețe prea mari de oxidare a metalului topit. Mașina cu cameră de compresie mobilă (fig. 4.49, *c*) are o suprafață de contact dintre aerul comprimat și metalul lichid mult mai mică. În acest caz, după ridicarea camerei de presiune umplută în baie, metalul este injectat în formă prin deschiderea ventilului de comandă a aerului comprimat. Aceste mașini au o productivitate de 50 . . . 500 piese pe oră.

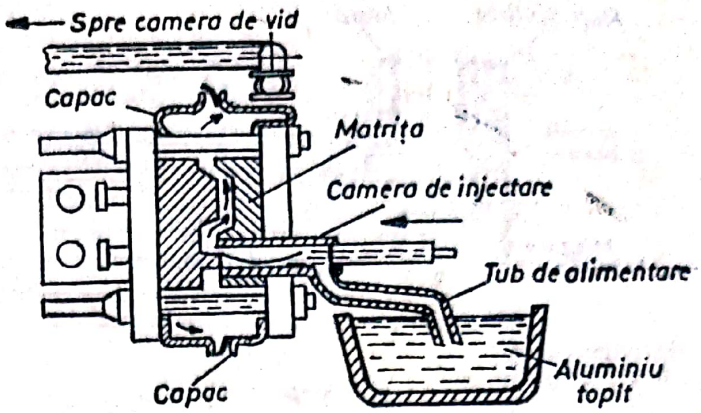


Fig. 4.51. Turnarea sub presiune în vid.

Mașinile de turnat cu presiune înaltă, care pot fi folosite și pentru aliaje neferoase greu fuzibile (alame, bronzuri și unele aliaje de aluminiu), au o cameră de compresie rece. După introducerea cantității necesare de metal lichid în cilindrul mașinii (fig. 4.50, *a*), cînd pistonul inferior menține încă închis canalul de alimentare al formei, are loc injectarea metalului în cavitatea formei prin coborîrea pistoanelor (faza *b*). În faza *c* are loc deschiderea formei, scoaterea piesei cu ajutorul extractoarelor din forma mobilă și îndepărtarea pastilei solidificate în cilindrul de lucru, pastilă care se trimite la retopire.

O variantă a acestei metode este *turnarea sub presiune în vid*, figura 4.51. Aliajul pătrunde în camera de injectare ca urmare a vidului creat.

4.5.5. Turnarea centrifugă

Această metodă constă în turnarea metalului în forme metalice aflate în mișcare de rotație. Sub acțiunea forței centrifuge metalul este proiectat pe pereții formei unde se solidifică. Procedeul se aplică la turnarea pieselor cu formă de revoluție, precum și a pieselor cu diferite configurații.

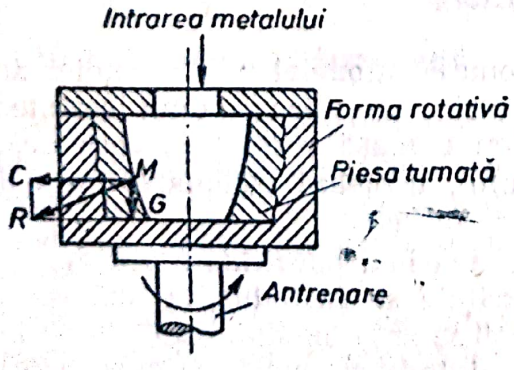


Fig. 4.52. Principiul turnării centrifuge cu rotirea formei în jurul unui ax vertical.

În cazul turnării în forme cu axa de rotație verticală (fig. 4.52) forma suprafeței libere va fi un paraboloid. Cu aceste mașini se toarnă piese de înălțime mică (roți, inele, bucșe etc.). La turnarea în forme cu axa de rotație orizontală (fig. 4.53) se pot obține piese de lungime mare, cu forma interioară cilindrică, cu grosime uniformă a peretelui. Această metodă se aplică, în special, la turnarea tuburilor de calitate superioară din fontă, care pot rezista la presiuni chiar de două ori mai mari față de cele turnate staționar.

Scanned with OKEN Scanner

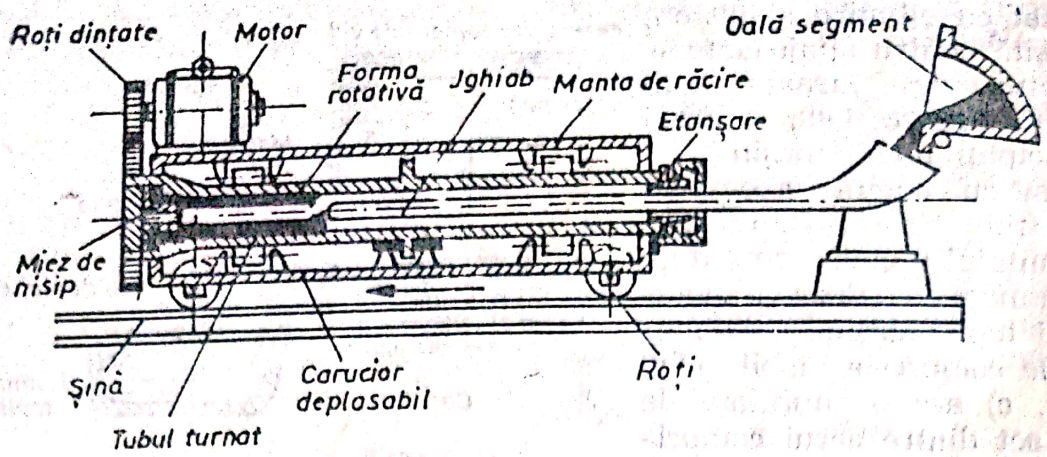


Fig. 4.53. Turnarea centrifugă a tuburilor.

Calitatea pieselor obținute prin această metodă depinde în mare măsură de *viteza de rotație a formei* care determină densitatea piesei, rezistența mecanică, omogenitatea compoziției în direcția radială și exactitatea formei suprafeței libere a piesei turnate. Turația formei la mașinile cu ax orizontal se poate stabili cu relația empirică:

$$n = \frac{5520}{\sqrt{\gamma \cdot r}} \quad [\text{rot/min}],$$

în care: γ este densitatea aliajului lichid, în g/cm³; r — raza suprafețe libere a piesei, în cm.

Avantajele turnării centrifuge sînt multiple și anume: economie de metal prin eliminarea rețelelor de turnare și a maselotelor; posibilitatea turnării unor piese cu pereți subțiri sau a pieselor bimetalice; obținerea unei structuri dense, fără porozități și oxizi, cu caracteristici mecanice înalte; reducerea volumului de cheltuieli pentru formare și turnare; productivitate mare, comparabilă cu a turnării în forme metalice. Dintre dezavantaje amintim: nu se pot obține orificii cu dimensiuni exacte în piesele turnate fără miez; apare pericolul segregării.

Prin această metodă se toarnă cămăși de cilindri pentru motoare, bucșe, inele din care se confecționează segmenți de piston etc.

4.5.6. Turnarea de precizie cu modele fuzibile

Acest procedeu se bazează pe confecționarea modelelor și a rețelei de turnare prin presarea (injectarea) în matrițe metalice a unui amestec ușor fuzibil, acoperirea acestor modele cu o masă refractară ceramică, iar după topirea și îndepărtarea modelului, urmează calcinarea formei și umplerea cu metal lichid pentru obținerea pieselor.

Modelele se execută din amestecuri de stearină, parafină, ceară de albine, colofoniu etc. După injectare, matrițele se introduc în apă rece, unde se mențin pînă la solidificarea și răcirea amestecului, după care ele se demontează și se extrag modelele, terminîndu-se curățirea eventualelor bavuri. Asamblarea modelelor în ciorchine (fig. 4.54, *a*) se realizează prin lipirea acestora pe piciorul pîlniei de turnare, obținut prin acoperi-

Scanned with OKEN Scanner

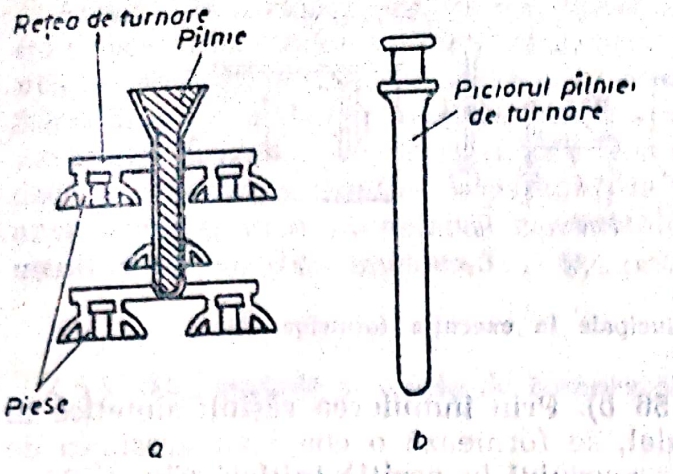


Fig. 4.54. Turnarea în ciorchine cu modele ușor fuzibile.

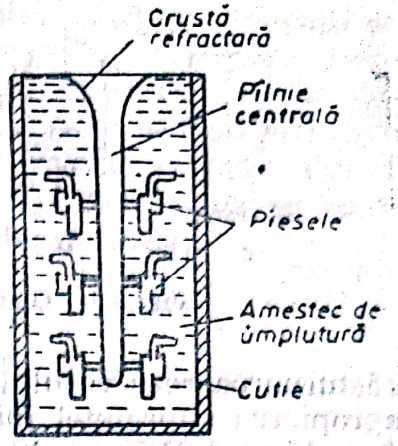


Fig. 4.55. Formă ciorchină gata pentru turnare.

rea cu un strat de ceară a unei tije de Al (fig. 4.54, *b*). Ciorchinele se cufundă într-o suspensie (pastă) alcătuită din soluție de silicat de sodiu și praf de cuarț, se scot apoi și se presară cu nisip cuarțos. În continuare, ciorchinele se cufundă, pentru fixare, într-o soluție NH_4Cl, cînd se formează un gel coloidal de silice, care leagă granulele de nisip într-o crustă dură. După aerisirea ciorchinelui pentru eliminarea apei și a amoniacului, se repetă procesul de 3...4 ori pentru a obține o crustă cu o grosime corespunzătoare. Ciorchinele se cufundă apoi într-o baie de apă fierbinte, în care are loc topirea și îndepărtarea modelului. Crustele ceramice se împachetează apoi în cutii metalice (fig. 4.55) și se supun unei calcinări la 900 . . . 950°C.

Procedeul prezintă o serie de avantaje: precizie mare a pieselor turnate cu eliminarea adaosurilor de prelucrare; se obțin piese cu configurații complicate; formele fiind monolitice, fără plan de separare, nu poate să apară bavură pe piesa turnată; se pot turna piese din aliaje dure și foarte dure, iar suprafața pieselor turnate este de calitate superioară. Procedeul este rentabil la turnarea în serie a pieselor mici, realizînd reduceri ale costului cu 30 . . . 80%.

Se toarnă astfel piese pentru avioane, mașini de cusut, pentru pompele de injecție a motoarelor Diesel, scule cu configurație complicată etc.

4.5.7. Turnarea în forme coji

Forma de turnare rezultă din asamblarea a două coji subțiri din amestec refractar (nisip cuarțos spălat, în amestec cu rășină termoreactivă), avînd o cavitate de configurația piesei. Rețeaua de turnare se obține odată cu cojile, iar golurile interioare se obțin cu ajutorul miezurilor coajă.

În figura 4.56 este prezentată succesiunea operațiilor de executare a semiformelor coji. Placa model încălzită la 250 . . . 300°C într-un cuptor, se aduce în contact cu un rezervor cu amestec termoreactiv (fig. 4.56, *a*). Se realizează contactul timp de 20 . . . 30 secunde dintre placa model și amestecul termoreactiv, prin căderea liberă a amestecului, obținută prin

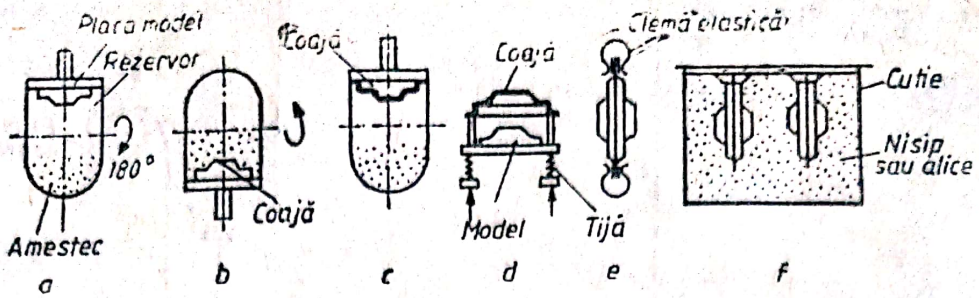


Fig. 4.56. Operațiile principale la execuția formelor coji.

răsturnarea rezervorului (fig. 4.56 *b*). Prin înmuierea rășinii sintetice în apropierea suprafeței plăcii model, se formează o coajă cu grosimea de 4 ... 15 mm. Prin readucerea rezervorului în poziția inițială (fig. 4.56, *c*), coaja crudă rămîne pe placa model, iar restul de amestec cade în jos în rezervor. Întărirea finală a cojilor se face prin încălzirea la temperatura de 300 ... 350°C timp de 2 ... 8 minute, fiind introduse împreună cu placa model, în cuptor. După aceasta se scot cojile de pe model cu ajutorul unor tije extractoare (fig. 4.56, *d*). Se execută apoi miezurile, folosind cutii de miez metalice încălzite la 250°C în care se suflă amestec termoreactiv. Se așază miezurile și urmează asamblarea semiformelor coji. Solidarizarea se face cu șuruburi, cleme elastice, sau prin lipire (fig. 4.56, *e*). Pentru turnare, cojile asamblate se fixează într-o cutie metalică, spațiul dintre forme fiind umplut cu alice de fontă sau cu amestec de formare (fig. 4.56, *f*).

Avantajele tehnico-economice sînt: se obțin piese cu precizie dimensională ridicată și cu suprafață netedă, curată; pot fi reduse și chiar înlăturate adaosurile de prelucrare, obținîndu-se mari economii de metal; productivitate mare și se pretează la automatizare.

Metoda se recomandă la turnarea în serie a pieselor cu greutatea între 0,1 și 100 kg.

4.5.8. Turnarea în forme întărite cu bioxid de carbon

La acest procedeu amestecul de formare și miez conține 94 ... 95% nisip cuarțos și ca liant, 5 ... 6% soluție de silicat de sodiu. Presiunea de lucru la suflarea cu CO_2 este de 1 ... 3 daN/cm². Silicagelul, care se formează prin reacția dintre silicatul de sodiu și CO_2, este un liant foarte bun care leagă granulele de nisip sub forma unei mase poroase și rezistente (fig. 4.57).

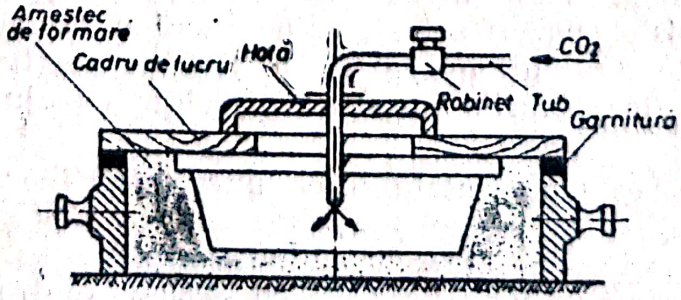


Fig. 4.57. Schema procedeului de întărire cu CO_2 a formelor.

Scanned with OKEN Scanner

Avantajele metodei sînt: se înlocuiesc lianții scumpi pentru miezuri: nu este necesară uscarea formelor și a miezurilor, ceea ce aduce economii de utilaje și combustibil; se reduce pericolul apariției suflurilor se poate folosi amestec unic; se mărește mult productivitatea formării. Dintre dezavantaje amintim: dezbaterea formelor și a miezurilor se face mai greu decît a formelor obișnuite; consumul de CO_2 este destul de mare; uneori apar greutăți prin înghețarea conductelor de CO_2. Dezbaterea se poate ușura introducînd în amestec 3 . . . 6% praf de cărbune (huilă).

4.5.9. Alte metode speciale de turnare și formare

a. Turnarea continuă constă din turnarea aliajului lichid într-un *cristalizator* răcit cu apă, în care metalul, venind în contact cu pereții reci, se va solidifica, iar produsul rezultat va fi evacuat continuu cu ajutorul unor cilindri de antrenare, așezați sub cristalizator. În cristalizator se introduce continuu metal lichid cu un debit corelat cu viteza de coborîre a produsului. Principiul procedeului este identic cu cel descris în capitolul 2 la turnarea continuă a lingourilor de oțel, iar instalația este prezentată în figura 2.34. Se toarnă astfel, în special, aliaje de aluminiu, oțel și fontă. Se pot turna lingouri lungi, semifabricate cu diferite profile, tuburi, benzi, table și sîrme. În figura 4.58 este arătată schema unei instalații cu doi cilindri rotativi, răciți cu apă, pentru turnarea benzilor sau a tablelor.

Procedeul prezintă multiple avantaje: se obțin piese omogene, compacte, cu proprietăți mecanice superioare; se elimină retasurile și porozitățile; reducerea rebutului, a fenomenului de segregație; reducerea cheltuielilor pentru fabricarea cochilelor; productivitate mare; coeficient de utilizare a metalului ridicat (circa 95%). Ca deficiență sînt tensiunile interne mari care apar datorită răcirii bruște după turnare.

b. Turnarea prin aspirație (fig. 4.59). Principiul metodei constă în introducerea metalului lichid în cavitatea formei prin depresiunea creată în aceasta, cu ajutorul unei pompe de vid, în raport cu presiunea atmosferică, la care se găsește metalul lichid din oala de turnare. Se realizează în acest mod simultan cu umplerea formei și evacuarea gazelor din metalul lichid și, deci, eliminarea suflurilor și porozităților din piesa turnată. Cristalizatorul are configurația interioară identică cu forma exte-

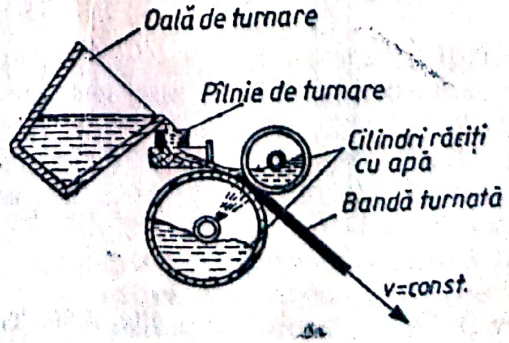


Fig. 4.58. Instalație de turnare continuă cu doi cilindri rotativi.

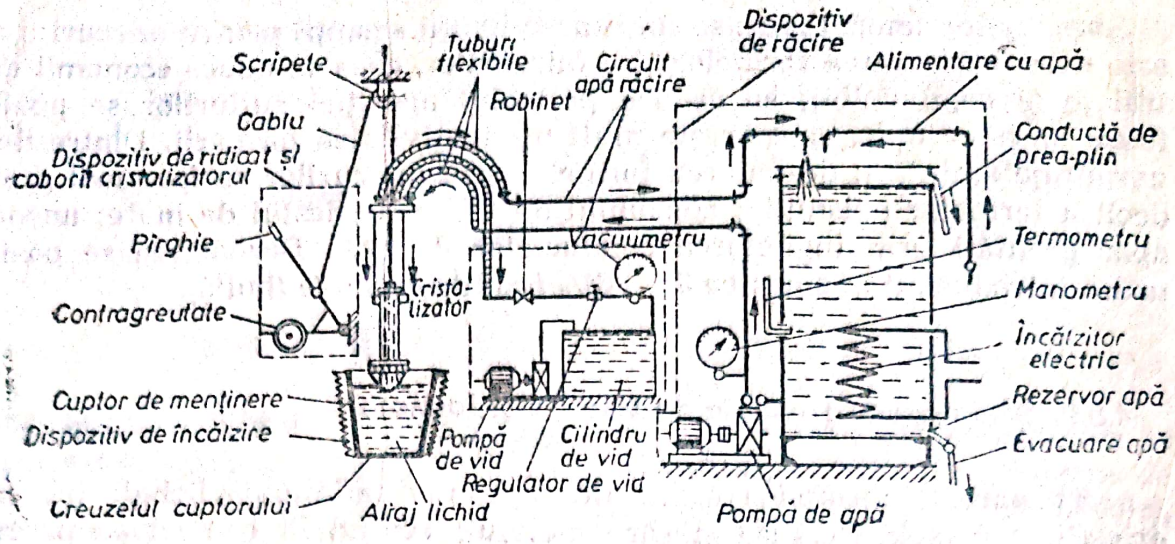


Fig. 4.59. Instalație pentru turnarea prin aspirație.

rioară a piesei ce se toarnă, iar pentru partea interioară, în cazul că nu se toarnă plină, fie că se utilizează miezuri obișnuite, fie că prin întreruperea aspirației după un anumit timp, metalul încă nesolidificat se va scurge din nou în baia topită, rămînînd în formă o piesă cu o grosime a peretelui egală cu grosimea metalului deja solidificat. Metoda se aplică în special la obținerea pieselor de dimensiuni relativ mici (bucșe, inele, roți dințate), din aliaje cu greutate specifică redusă.

c. Turnarea în vid constă în degazarea metalului înainte de turnare și în timpul turnării, cu ajutorul vidului. Degazarea metalului topit în vid se face: fie în camere de vid (fig. 4.60, *a*), după care turnarea metalului degazat se efectuează în condiții normale, fie în cuptoare de topire cu vid (fig. 4.60, *b*), unde și elaborarea aliajului și turnarea în formă se efectuează în vid.

Avantajele turnării în vid sînt: obținerea unor piese compacte, fără sufluri; lipsa arderii metalului și deci a pierderilor prin oxidare; se reduce consumul de energie electrică.

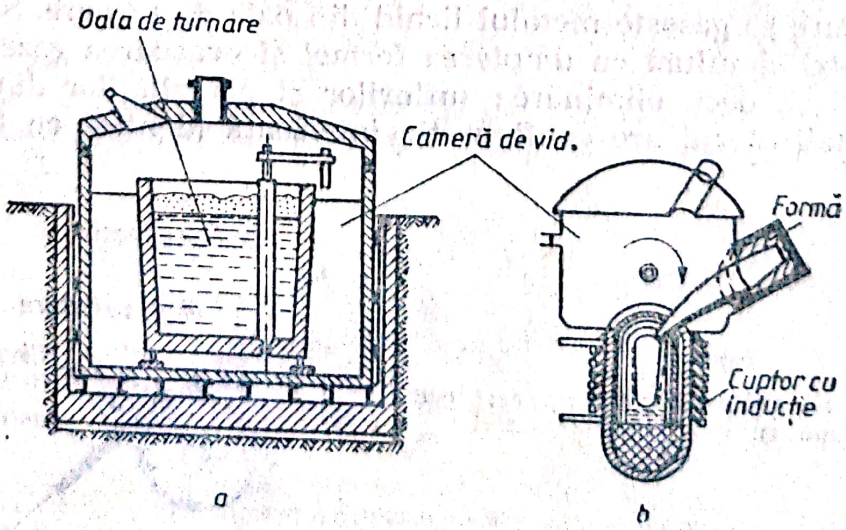


Fig. 4.60. Turnarea în vid.

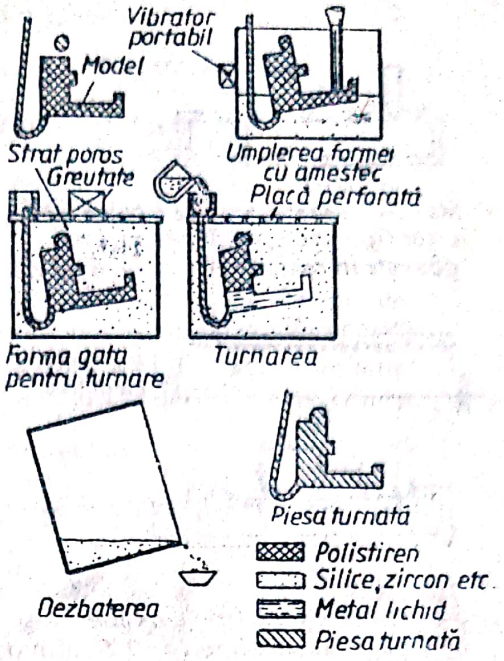


Fig. 4.61. Turnarea în forme cu modele volatile.

d. Turnarea în forme cu modele volatile (fig. 4.61). Modelul de polistiren la 275 . . . 290°C se volatilizează. Faptul că modelul nu se mai extrage din forma (care este fără plan de separație), prezintă avantajul că piesele obținute au precizie dimensională mare. Se aplică la turnarea pieselor mari, de forme complexe și de serie foarte mică (unicate).

e. Formarea în vid (fig. 4.62). Aici materialul de formare este numai din nisip, fără liant. Forțele de legătură dintre granulele de nisip se asigură datorită vidului. Se obțin piese cu suprafețe foarte curate se ușurează munca de curățire și procedeul se pretează la o mecanizare și automatizare avansată.

4.6. TURNAREA PIESELOR DIN OȚEL ȘI DIN ALIAJE NEFEROASE

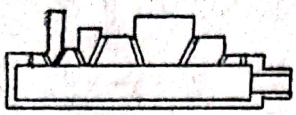
4.6.1. Turnarea pieselor din oțel

Oțelul asigură pieselor o siguranță mare în exploatare o micșorare a greutății acestora și unele calități superioare înlocuind uneori fonta și aliajele neferoase la turnarea pieselor.

Elaborarea oțelului pentru turnătorie se poate face în cuptoare Martin, în convertizoare mici și în cuptoare electrice, după procedeele descrise în capitolul 2,

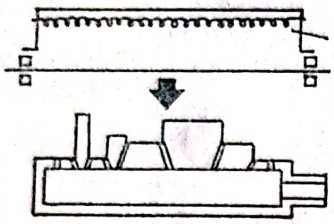
Turnarea pieselor din oțel prezintă dificultăți din cauza proprietăților de turnare mai slabe ale oțelului: temperatură de topire ridicată, fluiditate scăzută, contracție mare (contracție liniară de circa 1,5 . . . 2,2%), care favorizează formarea retasurilor și a crăpăturilor în timpul răcirii piesei, tendințe de segregație și tendință accentuată de dizolvare a gazelor în aliajul topit. De aceea se folosesc amestecuri de formare și de miezuri cu refractaritate superioară și rezistență mecanică, respectiv compresibilitate ridicată. Pentru piese mici și mijlocii se aplică turnarea în forme crude, iar pentru piese mari turnarea în forme uscate. Evitarea formării retasu-

Scanned with OKEN Scanner



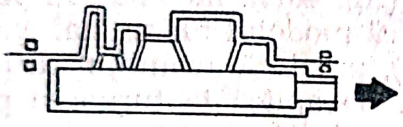
a

Modelul este așezat pe o placă cu o configurație specială și care se găsește în contact cu o cameră de vid



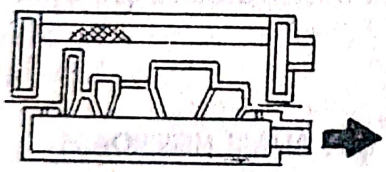
b

Se acoperă modelul cu o folie de plastic cu grosimea de 0,05...0,1 mm



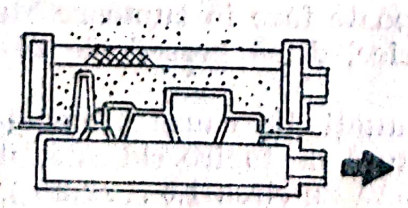
c

Prin vidare se mulează folia de plastic pe model



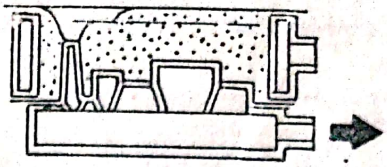
d

Se așează pe model rama superioară, care se poate pune în contact cu camera de vid



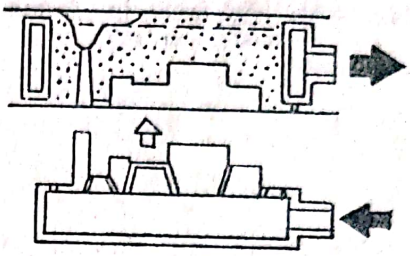
e

Se umple rama cu nisip și se vibrează în vederea asigurării unui grad de îndesare corespunzător.



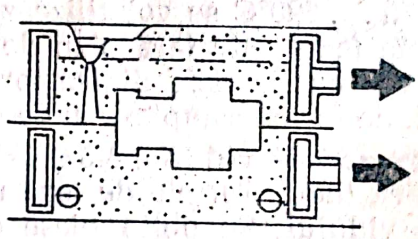
f

Se taie cupa de turnare și se acoperă rama cu o foaie de plastic



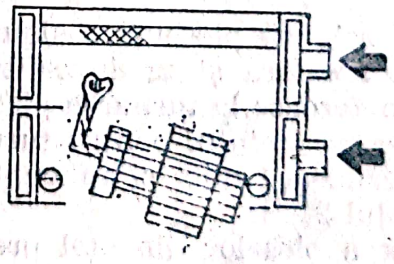
g

Se videază rama super. Se pune placa de model în contact cu atmosfera și se extrage modelul



h

Se execută o semiformă inferioară pe aceeași cale și se asamblează cele două semiforme. Se toarnă aliajul lichid în forma asamblată care are cele două semiforme în contact cu camera de vid



i

După solidificarea și răcirea piesei, se întrerupe contactul cu camera de vid. Nisipul și piesa cad din formă. Nisipul se răcește și se refolosește.

Fig. 4.62. Fazele procesului tehnologic de formare în vid.

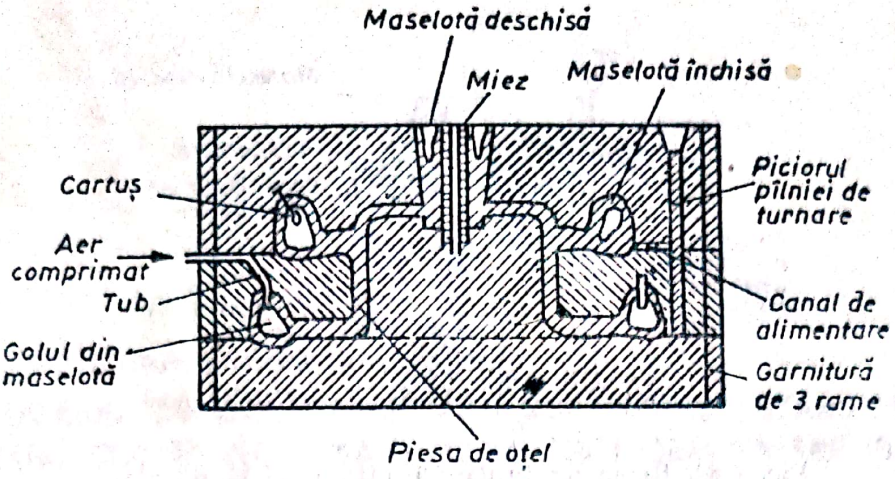


Fig. 4.63. Maselote deschise și oarbe la turnarea pieselor din oțel.

rilor de contracție se realizează prin asigurarea solidificării dirijate a piesei turnate, în condițiile amplasării unor maselote și răcitoare dimensionate corespunzător. *Maselota* este un adaos tehnologic de material care asigură alimentarea cu metal lichid a piesei în procesul de solidificare. Ele pot fi deschise sau închise (fig, 4.63). Îndepărtarea ușoară a maselotelor poate fi asigurată prin folosirea maselotelor strangulate, ușor detașabile, care au o suprafață de contact mai mică cu piesa, datorită folosirii unui inel separator cu bună conductivitate termică (fig. 4.64). Se practică turnarea în sifon și respectiv cu atac lateral.

Piesele turnate din oțel se supun ulterior unui *tratament termic de recoacere sau normalizare*, prin care se urmărește realizarea unei structuri fine și uniforme cu proprietăți mecanice superioare, precum și eliminarea tensiunilor interne rezultate din turnare.

4.6.2. Turnarea pieselor din aliaje neferoase

Turnarea pieselor din aliaje de cupru. Aliajele pe bază de cupru (alame și bronzuri) sînt cele mai răspîndite aliaje neferoase utilizate în turnătorii. Ele pot fi elaborate atît în cuptoare de topire cu creuzet, cuptoare rotative cu flacără, cît și în cuptoare electrice. Încărcătura metalică este alcătuită din cupru tehnic, deșeuri retopite și turnate anterior în blocuri, prealiaje între cupru și metalul de aliere respectiv, dezoxidanți și fondanți care ajută la formarea unei zguri fluide și la protejarea aliajului contra oxidării. Aliajele de cupru se caracterizează printr-o temperatură scăzută de topire, fluiditate și contracție mare, oxidare pe suprafețe și tendință mare de segregare (mai ales la bronzuri).

Pentru a obține piese turnate cu suprafață netedă și curată, se folosesc amestecuri de formare din nisip cu granulație fină. Amestecul de miez se realizează din nisip cuarțos, iar ca liant se folosește dextrina și leșia sulfitică.

Turnarea pieselor din aliaje de aluminiu. Încărcătura metalică este alcătuită din blocuri de aluminiu, deșeuri (rețele de turnare, maselote), piese uzate și prealiaje (cu siliciu, cupru, mangan etc.). Principalele proprietăți de turnare ale aliajelor de aluminiu sînt: fluiditate ridicată, contracția relativ mare, oxidare ușoară și tendință pronunțată de absorbție

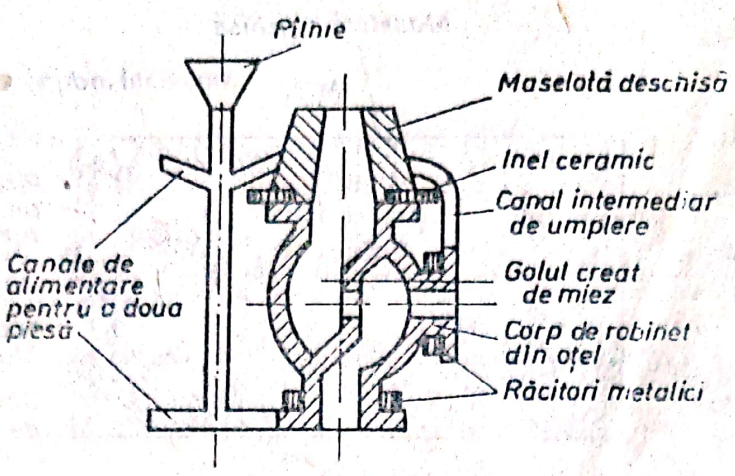


Fig. 4.64. Rețea de turnare pentru o piesă de oțel.

a gazelor formate în procesul turnării. Pentru a reduce la minim oxidarea, la suprafața băii topite se creează un strat protector de fondant sau săruri topite. La topire se folosesc cuptoare cu creuzet și cuptoare electrice cu rezistență sau cu inducție. Amestecurile de formare trebuie să aibă granulație fină și compresibilitate ridicată. La producția individuală și în serie mică aliajul se toarnă în forme temporare, iar la producția în serie mare se folosesc forme metalice. Trebuie să se dea, de asemenea, o mare atenție executării corecte a rețelelor de turnare și așezării maselotelor.

5

PRELUCRĂRI DIMENSIONALE FĂRĂ SCHIMBAREA STĂRII FIZICE, IN VOLUM CONSTANT – PRELUCRĂRI PRIN DEFORMARE PLASTICĂ

5.1. DEFORMAREA PLASTICĂ A METALELOR ȘI ALIAJELOR

Prin deformarea plastică a materialelor metalice se înțelege modificarea, cu caracter permanent, a formei exterioare cu ajutorul unor forțe de deformare, fără însă să se producă ruperea, distrugerea integrității sale. Studierea plasticității materialelor prezintă o deosebită importanță, deoarece, în practică, aproape toate produsele folosite au fost supuse unor deformații plastice. Utilizarea masivă a metalelor în industrie este și o consecință a faptului că prin deformare plastică li se pot da, în condiții tehnico-economice avantajoase, forme specifice prin procedee ca: laminarea, forjarea, extrudarea, tragerea, ambutisarea etc.

Deformarea plastică are loc în mod normal prin: alunecare sau deformare de-a lungul unui plan cristalografic; maclare sau deplasare a unei regiuni din cristal. Aceste mecanisme sînt clar puse în evidență pe monocristale.

5.1.1. Deformarea plastică a monocristalelor

5.1.1.1. **Deformarea plastică prin alunecare.** Dacă asupra unui monocristal acționează forțe exterioare, în acesta se vor produce tensiuni interne care, dacă depășesc o anumită valoare critică, produc alunecări de-a lungul planelor cristalografice cu densitate maximă de atomi. Atomii se deplasează de-a lungul planului de alunecare cu cel mult cîteva distanțe interatomice. În figura 5.1. este schematizat procesul de deformare plastică prin alunecare. După alunecarea de-a lungul planului de densitate maximă de atomi, *mn*, porțiunea inițială de cristal *ABCD* ajunge în poziția *ABC'D'*. Dacă *a* este parametrul rețelei, deplasarea *h* este totdeauna egală cu un număr întreg de parametrii: $h = k \cdot a$. După ce atomii din stratul deplasat ajung în dreptul altor atomi, între noii vecini apar aceleași forțe de coeziune, rețeaua se restabilește și își menține integritatea și după „săritura" produsă.

Dacă un monocristal filiform este supus la tracțiune și planele lui de densitate maximă de atomi formează cu direcția forței unghiuri de 45° (fig. 5.2), atunci pe suprafața sa apar linii sau benzi de alunecare și

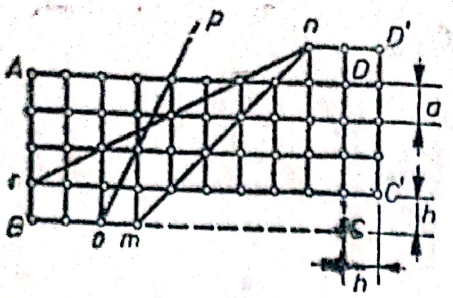


Fig. 5.1. Alunecarea în rețeaua cristalină.

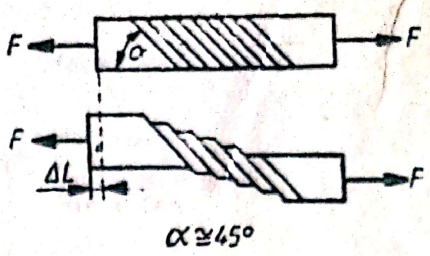


Fig. 5.2. Apariția planelor de alunecare la deformarea plastică a unui monocristal.

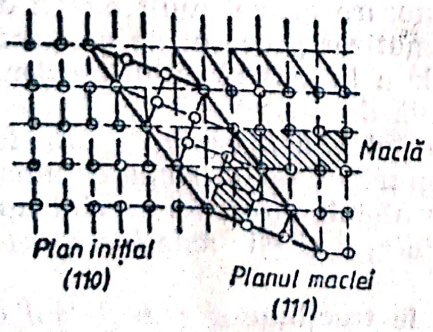
secțiunea transversală din circulară devine eliptică (asemănător cu deformarea unui fișic de monede).

În timpul alunecărilor, pachetele de atomi își schimbă și direcția lor în raport cu forțele exterioare care acționează asupra monocristalului, fiind nevoite să se așeze în poziții mai puțin favorabile, în care alunecările se produc mai greu. La aceasta se adaugă și producerea unor defecte, asperități, strîmbări locale ale rețelei etc., care îngreunează, pînă la oprire, alunecarea pe suprafața inițială, moment în care începe să se producă alunecare pe alte plane cu densitate maximă de atomi. Procesul se continuă, în condiții din ce în ce mai grele, crește valoarea efortului necesar producerii unei anumite deformații în continuare și, dacă se depășește o valoare critică, forțele de coeziune dintre atomi cedează și se produce ruperea.

5.1.1.2. **Deformarea plastică prin maclare.** În acest caz, atomii cristalului se deplasează de așa manieră, încît rețeaua transformată și rețeaua maclată devin simetrice cu un plan, numit plan de maclare (fig. 5.3). Maclarea poate fi un fenomen foarte rapid și are loc dacă cristalul înmagazinează o energie elastică considerabilă. Tensiunile care provoacă alunecarea, pot provoca și maclarea. Fenomenul de maclare nu poate să apară dacă metalul este supus tracțiunii sau compresiunii, adică dacă deformația are loc după direcția tensiunii.

5.1.2. Deformarea plastică a agregatelor policristaline

Metalele și aliajele sînt alcătuite din grăunți cristalini diferit orientați, formînd un agregat policristalin (fig. 5.4). Fenomenul de deformare plastică aici se complică, necesită forțe mai mari. Fiecare grăunte se va



Fi. 5.3. Deformarea plastică a cristalului prin maclare.

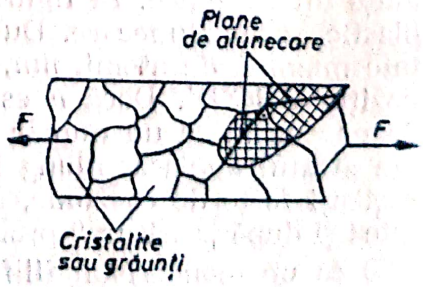


Fig. 5.4. Deformarea plastică a agregatelor policristaline.

deforma în funcție de orientarea planelor proprii de alunecare. Translațiile se produc, mai întîi, în grăunții orientați favorabil (de exemplu în cazul tracțiunii sau compresiunii, grăunții care au planele de alunecare orientate la aproximativ 45°). Orientarea diferită a rețelei grăunților cristalini vecini, care deocamdată încă nu se deformează, totodată și frînează deformarea din grăunții orientați favorabil, provocînd, uneori, chiar sfărîmarea acestora. Astfel efortul exterior se va repartiza numai treptat pe un număr mai mare de grăunți, ceea ce reclamă o forță din ce în ce mai mare pentru realizarea unei deformații date.

Impuritățile, defectele de rețea și unele elemente de aliere, acționează, ca și în cazul deformării plastice a monocristalelor, îngreunînd procesul de deformare. În cazul agregatelor policristaline, mai intervine și mărimea grăunților cristalini, adică finețea structurii. Cu cît structura este mai fină, cu atît metalul se va deforma mai greu, necesitînd eforturi mai mari.

5.1.2.1. **Ecruisarea materialelor metalice.** În cursul deformării plastice la rece a unui agregat policristalin, se produce, așa cum s-a arătat, și sfărîmarea grăunților cristalini, cu influențe remarcabile asupra proprietăților materialelor metalice. Concomitent cu fărîmițarea grăunților cristalini și acumularea unor tensiuni interne reziduale, se produce și o reorientare și alungire a grăunților cristalini în direcția deformării maxime. Toate acestea determină așa-zisa *stare ecruisată,* iar fenomenul ca atare, conduce la o stare în afară de echilibru. Starea de ecruisare se definește prin *gradul de ecruisare, r,* care depinde de reducerea relativă a secțiunii: $r = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100$ [%], unde S_0 este secțiunea inițială și S_u secțiunea după deformare (fig. 5.5). Cu cît gradul de ecruisare este mai mare, cu atît proprietățile sînt mai mult afectate (fig. 5.6). Creșterea limitei de elasticitate și a rezistenței de rupere, însoțite și de o accentuată diminuare a capacității de deformare (a alungirii la întindere), provocate de ecruisare, pot jena într-atît procesul de prelucrare prin deformare, încît, la un moment dat, el trebuie oprit. Pentru continuarea prelucrării prin deformare plastică este necesar ca, mai întîi, să se efectueze o *recoacere de recristalizare,* pentru restaurarea structurii ecruisate și eli-

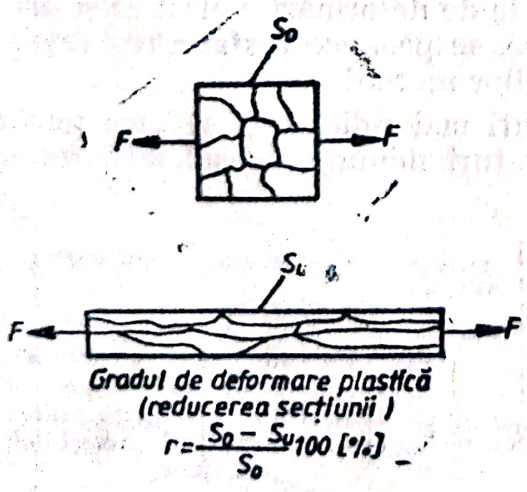


Fig. 5.5. Deformarea grăunților la ecruisare; obținerea structurii fibroase orientate.

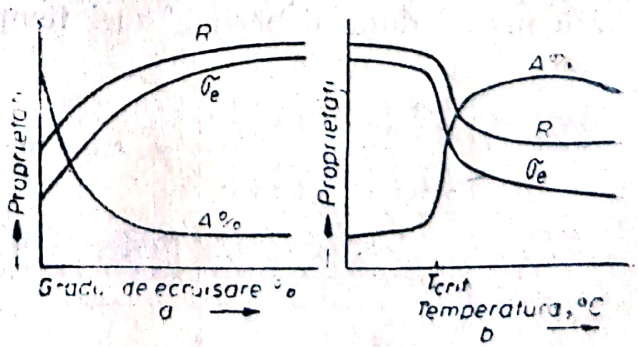


Fig. 5.6. Variația unor proprietăți mecanice prin ecruisare (*a*) și în cursul recoacerii produsului ecruisat (*b*): *R* — rezistența la rupere; *E* — limita de elasticitate; *A* [%] — alungirea.

minării tensiunilor interne. Prin recoaceri de recristalizare corect conduse, se pot redobîndi chiar proprietățile inițiale ale materialului (fig. 5.6, *b*). Starea de ecruisare modifică nu numai proprietățile mecanice ale materialelor, ci și pe cele electrice, cum ar fi, de exemplu, rezistivitatea, permeabilitatea magnetică etc. Rezistivitatea crește odată cu creșterea gradului de ecruisare, putînd atinge, în funcție de metal, 8% în cazul Ni, 18% pentru Mo și pînă la 50% pentru W. Ecruisarea modifică și permeabilitatea magnetică, care scade cu mărirea gradului de deformare, în timp ce forța coercitivă crește. Este cunoscută în acest sens comportarea materialelor de tip Permalloy.

Schimbarea proprietăților mecanice în funcție de gradul de ecruisare, defavorabil prelucrării prin deformare plastică, se exploatează favorabil în unele împrejurări pentru îmbunătățirea rezistenței mecanice, a durității, a elasticității etc., în special cînd nu se pot aplica tratamente termice. Așa, de exemplu, cuiele de tîmplărie, confecționate din oțeluri cu conținut mic de carbon, care sînt „întărite" prin ecruisare, recoapte ulterior, nu se pot bate nici în cel mai moale lemn. Arcurile spirale din sîrme foarte subțiri (de la balansierul ceasurilor de mînă sau buzunar), își dobîndesc proprietățile de utilizare tot în urma unei intense ecruisări. Chiar și unele cabluri electrice și sîrme de cupru sau aluminiu, se livrează pentru diferite domenii de utilizare în stare *moale, semitare* sau *tare,* stare care depinde de gradul de ecruisare.

5.1.2.2. **Recristalizarea metalelor.** Starea ecruisată a metalelor, fiind în afară de echilibru, este nestabilă. O parte din lucrul mecanic consumat pentru deformarea la rece a materialului, a rămas sub formă de tensiuni interne, ca o energie potențială. Printr-o încălzire, un asemenea material poate fi adus la o stare normală prin reducerea tensiunilor, înlăturarea distorsiunilor rețelei, refacerea grăunților cristalini. Acest fenomen spontan poartă denumirea de *recristalizare.*

Procesul de recristalizare, deși este continuu, în mecanismul său se pot distinge trei etape (fig. 5.7): *restaurarea rețelei* cristaline; recristalizarea propriu-zisă prin *germinare,* creșterea grăunților cristalini prin *coalescentă.*

În prima etapă a încălzirii, la temperaturi moderate, se elimină distorsiunile rețelei cristaline și tensiunile create de deformările elastice și plastice din apropierea planelor de alunecare, se produce restaurarea rețelei, cu efecte imperceptibile asupra proprieăților mecanice.

Etapa a doua se produce la temperaturi mai ridicate și se face remarcată numai după depășirea unei temperaturi minime, considerată *tempe-*

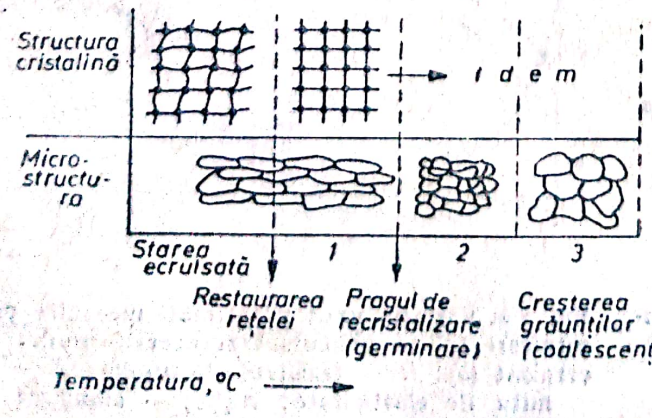


Fig. 5.7. Modificări structurale în cursul celor trei etape ale recristalizării: *1* — restaurare; *2* — recristalizare; *3* — creșterea grăunților.

ratura critică de recristalizare, T_{recr}, sau prag de recristalizare și care după A. A. Bocivar este funcție de temperatura de topire a metalului, T_{top}, conform relației: $T_{recr} \cong 0{,}4\ T_{top}$ [K]. Ca exemplu, pentru fier se obține astfel $T_{recr} \cong 0{,}4\ (1539 + 273) = 724\ K \cong 450\,°C$.

Temperatura critică de recristalizare mai depinde și de gradul de deformare plastică. La un grad mare de deformare, cînd ecruisarea este mai pronunțată, instabilitatea este mai mare și deci recristalizarea spontană poate începe la temperaturi mai scăzute. De altfel, centrele de recristalizare apar tocmai în locurile puternic deformate ale rețelei. În jurul lor, printr-un proces de germinare, se formează noi grăunți fini și echiaxiali, cu o energie liberă mai mică.

În majoritatea cazurilor, materialele se pot recristaliza în condiții favorabile, numai dacă au depășit un anumit *grad critic de deformare* și care, pentru oțeluri, este de 8 ... 10%. La depășirea acestei valori, are loc recristalizarea normală. Dacă deformarea are loc în apropierea gradului critic de deformare, după recoacere apare un grăunte grosolan. Oțelurile bogat aliate și cele cu peste 0,3% C nu prezintă un grad critic de deformare. În figura 5.8. se prezintă modificările survenite în cele trei etape ale recristalizării.

Deoarece energia liberă a sistemului depinde de raportul dintre suprafețele grăunților cristalini și volumul cuprins, un grăunte va fi cu atît mai stabil cu cît va fi mai mare și de o formă mai rotunjită. Spre această situație se tinde în cea de-a treia etapă, cînd, printr-un *proces de coalescență*, grăunții cei mari cresc pe seama celor mici.

Mărimea finală a grăunților, care influențează și proprietățile obținute prin recoacerea de recristalizare, depinde de structura inițială, de temperatura de recristalizare, de durata recoacerii și de gradul de deformare. Cu cît structura inițială este mai omogenă cu atît mai sigur se poate controla mărimea finală a grăunților. O structură mixtă, cu grăunți fini, amestecați cu grăunți mari, favorizează coalescența și deci conduce la o structură grosolană, cu proprietăți mecanice nefavorabile.

Temperatura, favorizînd accentuat procesul de germinare și de coalescență, dacă nu este bine aleasă, conduce ușor la o structură grosolană (fig. 5.9). *Durata de menținere*, mai ales la temperaturi ridicate, favorizează de asemenea, creșterea grăunților prin coalescență (fig. 5.10), dar aceasta este mai puțin intensă, deoarece are tendință de stabilizare.

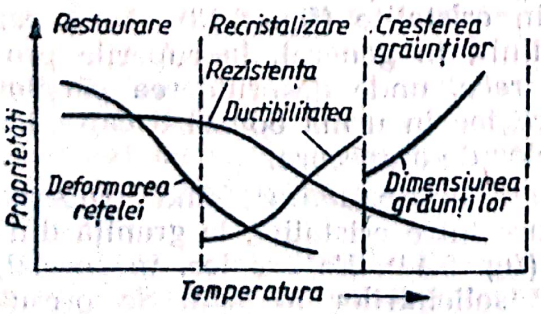


Fig. 5.8. Etapele procesului de recoacere de recristalizare.

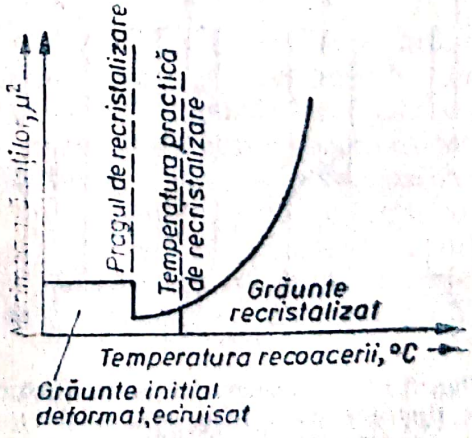


Fig. 5.9. Influența temperaturii de recristalizare asupra creșterii grăunților.

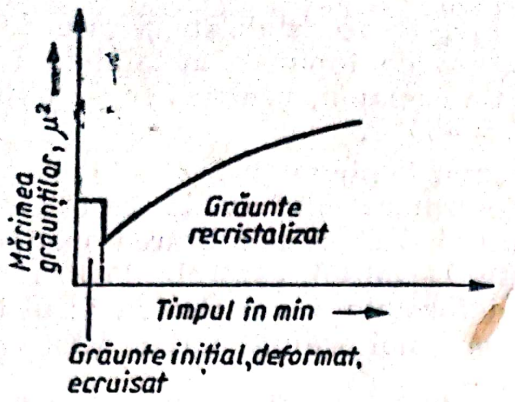


Fig. 5.10. Influența duratei de menținere la temperaturi ridicate asupra creșterii grăunților.

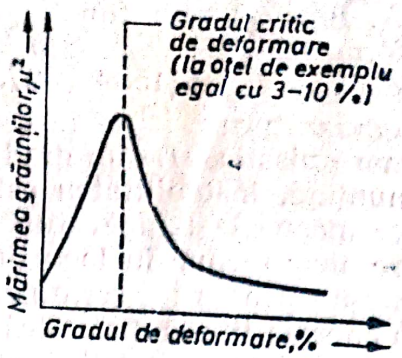


Fig. 5.11. Influența gradului de deformare asupra creșterii grăunților.

Gradul de deformare anterior are o influență mai capricioasă, grăunții prezentînd o creștere puternică în timpul recristalizării numai dacă deformarea este în jurul pragului critic de deformare (fig. 5.11).

Desigur că pentru reușita recristalizării, respectiv realizarea unei structuri de o anumită finețe (granulație), care să asigure și proprietățile cerute, factorii de care depinde, trebuie bine corelați. În alegerea avantajoasă a parametrilor recoacerii de recristalizare, de un real folos sînt diagramele de recristalizare experimentale, specifice fiecărui tip de aliaj.

5.1.2.3. **Ruperea metalelor** este un fenomen limită și se produce cînd coeziunea dintre atomii materialului este depășită de tensiunile care apar în urma solicitărilor exterioare. Nu este importantă numai cunoașterea tensiunii la care are loc ruperea, ci și caracterul ruperii, caracter care permite și o bună apreciere a comportării materialului în diferite împrejurări.

Dacă înainte de rupere apar deformații plastice vizibile, avem o *rupere ductilă* (tenace, fig. 5.12, *a*, *b*), iar dacă ruperea are loc brusc, fără ca materialul să sufere în prealabil deformații permanente vizibile, este vorba de o comportare fragilă (fig. 5.12, *d*). *Ruperea fragilă* se poate produce și în cazul unor condiții anormale de aplicare a sarcinii (viteze mari, temperaturi scăzute etc.) Un material cu o comportare ductilă prezintă mai multă încredere în exploatare. Analizînd ruperile la scară microscopică distingem două cazuri:

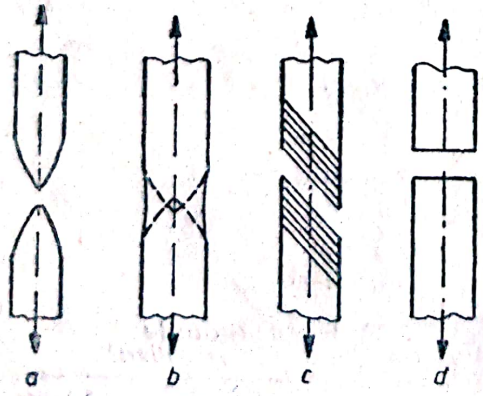


Fig. 5.12. Reprezentarea schematică a tipurilor de rupere a metalelor: *a* — rupere complet ductilă; *b* — rupere ductilă; *c* — rupere ductilă la monocristale; *d* — rupere fragilă.

- *rupere intracristalină* care are loc de-a lungul unor plane de alunecare, trecînd prin cristalite (fig. 5.13). Acest caz este întîlnit, în general, la ruperile produse *la rece*, unde desprinderea părților rupte are loc în urma epuizării capacității planelor de alunecare;
- *rupere intercristalină*, cînd ruperea se produce între cristalite, la granița dintre ele (fig. 5.14). Ea are loc, în special, în cazul solicitărilor *la cald*. Se presupune că acest tip de rupere se produce datorită stratului intergranular (impuri-

Scanned with OKEN Scanner

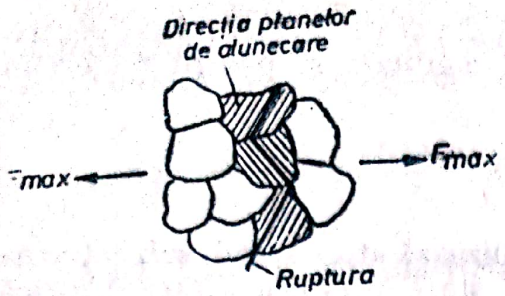


Fig. 5.13. Rupere intracristalină.

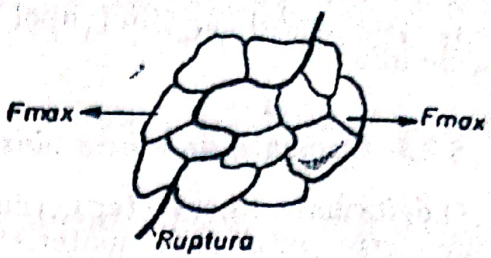


Fig. 5.14. Rupere intercristalină.

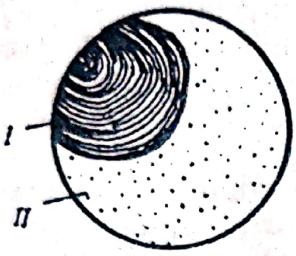


Fig. 5.15. Aspectul macroscopic al ruperii prin oboseală: *I* — zonă de rupere statică; *II* — zonă de obosire.

tăți, eutectici etc.), care la temperaturi ridicate se înmoaie sau se topește și favorizează apariția casurii în această zonă.

Un gen aparte de rupere este *ruperea la oboseală*, care se produce în urma unor solicitări, de obicei de valori mici, care se repetă însă, după diferite scheme ciclice, într-un număr foarte mare de ori. Materialul se rupe progresiv, de obicei ruptura pornind din dreptul unei amorse de rupere (crestătură, microfisură, impurități, sufluri etc.), apoi acesta se extinde pînă ce secțiunea atinge o valoare critică, cînd are loc o rupere bruscă. În secțiunea de rupere (fig. 5.15) se pot distinge ușor cele două stadii de rupere: *zona I, de obosire*, cu o suprafață netedă sticloasă, cu urme concentrice în jurul amorsei și *zona II de rupere statică*, cu un aspect grăunțos. Astfel de ruperi se observă des la fuzetele materialului rutier, care au fost supuse, în circulație, la un număr foarte mare de solicitări alternative de încovoiere.

5.2. PRELUCRAREA MATERIALELOR PRIN DEFORMARE PLASTICĂ

Toate materialele cu structură cristalină, în speță metalele, și o bună parte din materialele amorfe, se pot deforma plastic, modificările de formă, în condiții determinate, avînd un caracter permanent. Prelucrarea prin deformare plastică prezintă o serie de avantaje tehnico-economice, care asigură procedeului o arie largă de răspîndire. Dintre *principalele avantaje* amintim: posibilitatea obținerii unor forme finale complexe prin tehnologii simple, gamă largă de materiale ce pot fi prelucrate prin deformări cu caracter permanent, coeficienți ridicați de utilizare a materialului, proprietăți mecanice îmbunătățite, precizie dimensională înaltă etc.

Deoarece în construcția de mașini electrice și aparate, ca de altfel pe ansamblul industriei constructoare de mașini și aparate, ponderea materialelor metalice este încă foarte mare și utilizarea lor a precedat cea a materialelor nemetalice, în special a celor plastice, tehnologiile de pre-

Scanned with OKEN Scanner

lucrare prin deformări plastice au fost studiate și perfectate inițial pentru materiale metalice, fiind apoi preluate și adaptate și pentru materiale nemetalice.

5.2.1. Elemente de teoria plasticității

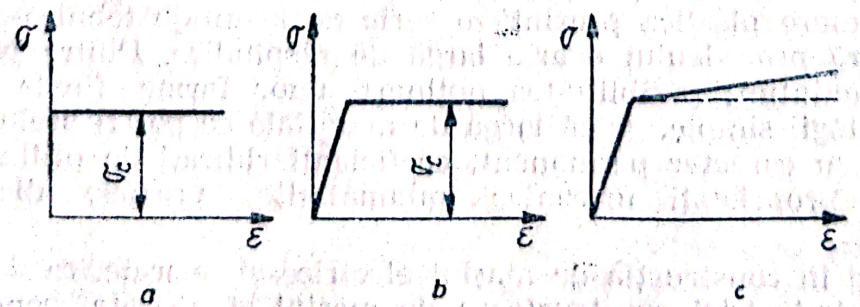
O deformare cu caracter permanent se realizează atunci cînd, sub acțiunea unor forțe exterioare, materialul trece în stare plastică. Starea plastică corespunde situației în care tensiunile interne, cauzate de solicitarea exterioară, depășesc limita de elasticitate și apoi cea de curgere (numai la materiale cristaline). În figura 3.4 a fost reprezentată curba caracteristică de tracțiune a unui oțel moale în tensiuni convenționale, $\sigma = F/S_0$, în N/mm² (curba *1*) și în tensiuni reale (curba *2*), unde forțele de tracțiune F se raportează la secțiunea reală S_{real}, care se micșorează continuu, ca urmare a legii volumului constant, pe măsură ce alungirea ΔL crește, $\sigma_{real} = F/S_{real}$, în N/mm².

Curba caracteristică simplificată, trasată în coordonate tensiune reală — deformație specifică reală (curba lui Hooke), care permite precizarea tensiunilor necesare pentru a face ca metalele ductile să prezinte fenomene de curgere plastică, pînă la o deformare specifică dată, se numește adesea *curba de curgere* și corespunde unei expresii matematice simplificate, de forma : $\sigma_{real} = k \cdot \varepsilon^n$, unde k este tensiunea ce corespunde unei deformații specifice reale $\varepsilon = 1$, iar n este coeficientul de ecruisare și corespunde pantei dreptei ce se obține reprezentînd ecuația de mai sus în coordonate logaritmice.

Deoarece interpretarea matematică a fenomenului plasticității, chiar în cazul folosirii relației simplificate a curbei de curgere, este complicată, s-a recurs la înlocuirea curbei de curgere reală cu curbe schematizate simplificate (fig. 5.16). Deși cele mai multe materiale se comportă după curba schematizată *c*, pentru ușurarea interpretării matematice se preferă varianta *b*, de care se apropie și comportarea oțelurilor carbon cu o limită de curgere aparentă pronunțată.

În cazul deformărilor plastice, cînd lungimea între repere variază mult, expresia matematică convențională de definire a deformației specifice liniare, ca raport dintre variația de lungime și lungimea inițială între repere

$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{1}{L_0}\int_{L_0}^{L} dL$, nu este corespunzătoare, deoarece ea se aplică numai pentru valori mici a lui ΔL.



a *b* *c*

Fig. 5.16. Curbele schematizate de curgere: *a* — material perfect plastic; *b* — material perfect plastic cu o zonă de deformare elastică; *c* — material cu comportări elastice și plastice liniare.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru o definire mai corectă a deformației specifice reale în cazul deformărilor plastice, s-a propus ca variația lungimii să fie raportată la lungimea instantanee între repere și nu la lungimea inițială. Deci:

$$\varepsilon = \frac{L_1 - L_0}{L_0} + \frac{L_2 - L_1}{L_1} + \frac{L_3 - L_2}{L_2} + \ldots \text{ sau } \varepsilon = \int_{L_0}^{L} \frac{dL}{L} = \ln \frac{L}{L_0}$$

5.2.1.1. **Criterii de plasticitate pentru metale ductile.** Determinarea condițiilor în care, într-un material supus unor stări de tensiuni complexe, începe curgerea plastică, este deosebit de importantă. Infinitatea de combrinații posibile a tensiunilor în coordonate σ_1, σ_2 și σ_3 reprezintă o suprafață, care poartă denumirea de suprafață limită *a deformărilor plastice* și se scrie sub forma generală:

$$F(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, k_1, \ldots) = 0.$$

Cunoașterea suprafeței limită a deformărilor ar fi foarte utilă, deoarece ar permite să se stabilească ușor combinațiile între eforturile unitare normale principale, la care are loc trecerea corpului în stare plastică. În lipsa cunoașterii suprafeței limită a deformărilor în cazul unor solicitări complexe, s-a recurs la criterii simplificatoare, care să coreleze apariția curgerii în cazul unor încercări simple (tracțiune, compresiune) cu curgerea ce apare în unitatea de volum supusă unei stări de tensiuni spațiale. Pentru precizarea apariției curgerii plastice în metale ductile, s-au conturat criteriile tensiunii tangențiale maxime și a energiei de schimbare a formei.

Criteriul tensiunii tangențiale maxime (criteriul lui Treska) precizează: curgerea plastică începe atunci cînd tensiunea tangențială maximă atinge o valoare critică, valoare care este egală cu tensiunea tangențială maximă ce ia naștere la curgere în cazul încercării simple la tracțiune. Tensiunea tangențială maximă la curgere τ_c, în cazul încercării la tracțiune este egală cu jumătate din valoarea limitei de curgere σ_c. Deci $\tau_c = \sigma_c/2$.

Criteriul energiei de schimbare a formei (criteriul lui Mises) precizează că fenomenul de curgere va apare atunci cînd energia de schimbare a formei, acumulată în unitatea de volum, va depăși energia de deformare, acumulată pe unitatea de volum necesară apariției curgerii în cazul unei solicitări simple de compresiune sau tracțiune. Pentru o stare de tensiuni liniare (compresiune, tracțiune), la care $\sigma_1 = \sigma_c$; $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$, energia necesară de schimbare a formei W_f se obține cu relația:

$$W_f = \frac{1 + \mu}{3E} \cdot \sigma_c^2,$$

unde μ este coeficientul de contracție transversal, egal cu 0,33 pentru majoritatea metalelor ductile și E este modulul de elasticitate longitudinal.

Pentru o stare de tensiuni oarecare, relațiile reprezentate în coordonate σ_1, σ_2, σ_3, corespund unui cilindru egal înclinat față de cele trei axe de coordonate, suprafața cilindrului fiind suprafața limită a deformațiilor plastice. Prin secționarea cilindrului cu planul $\sigma_3 = 0$, se obține o elipsă cu centrul în origine și cu axa principală înclinată cu 45° față de axa σ_1 (fig. 5.17). Elipsa care reprezintă conturul de plasticitate după criteriul energetic este circumscrisă hexagonului care corespunde criteriului tensiunii tangențiale maxime. Din compararea celor două curbe, reiese că

Scanned with OKEN Scanner

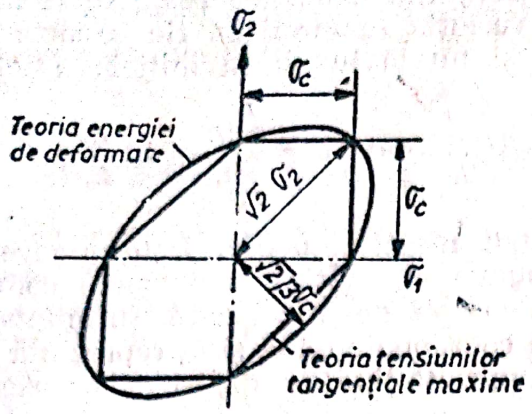


Fig. 5.17. Compararea criteriilor de curgere pentru starea plană de tensiune.

metoda tensiunii tangențiale maxime conduce la o valoare a limitei de curgere mai mică cu aproximativ 15% față de valoarea obținută prin criteriul energetic.

Verificările experimentale au pus în evidență că ecuația energetică **nu dă** rezultate precise decît pentru metalele și aliajele cu rețea cubică, cum sînt oțelurile, și care au o structură stabilă. Ecuațiile de plasticitate corespund în mai mare măsură în cazul prelucrării prin deformare plastică la cald, deoarece structura cristalină este mai stabilă.

5.2.2. Legile de bază ale prelucrării prin deformare plastică

Studiile experimentale au permis să se încadreze comportarea materialelor metalice în timpul deformării plastice într-o serie de legi, considerate de bază. Cunoașterea acestor legi permite alegerea celor mai favorabile variante tehnologice pentru obținerea unui anumit tip de deformare, dimensionarea corectă a semifabricatului și sculei etc.

5.2.2.1. **Legea volumului constant.** În timpul deformării plastice la temperatură constantă, volumul materialului prelucrat se menține practic constant. Unele modificări nesemnificative de volum pot apărea fie în urma unei prelucrări la rece, fără recristalizare (o creștere cu max. 1%) sau a prelucrării unui produs turnat (micșorări cu max. 10%, prin înlăturarea unor defecte specifice).

Dacă înainte și după deformare plastică dimensiunile unui material de formă paralelipipedică (fig. 5.18) sînt l, b, h și respectiv l', b', h', conform legii volumului constant, volumele lor V și V' sînt egale. Avem prin urmare:

$V = l \cdot b \cdot h$ și $V' = l' \cdot b' \cdot h'$ și deoarece $V = V'$, raportul lor va fi $\frac{V'}{V} = \frac{l' \cdot b' \cdot h'}{l \cdot b \cdot h} = 1$, iar prin logaritmare $\ln \frac{l'}{l} + \ln \frac{b'}{b} + \ln \frac{h'}{h} = 0$.

Logaritmul raportului dintre dimensiunea de după deformare și dimensiunea inițială se notează cu δ și se numește *grad de deformare logaritmic* și reprezintă integrala deformării elementare relative la un moment dat:

$\ln \frac{l'}{l} = \delta_l$; $\ln \frac{b'}{b} = \delta_b$; $\ln \frac{h'}{h} = \delta_h$ și deci

$$\delta_l + \delta_b + \delta_h = 0.$$

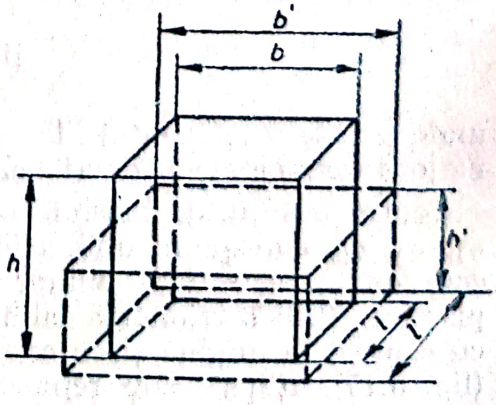


Fig. 5.18. Schimbarea dimensiunilor la refularea unui corp prismatic.

Scanned with OKEN Scanner

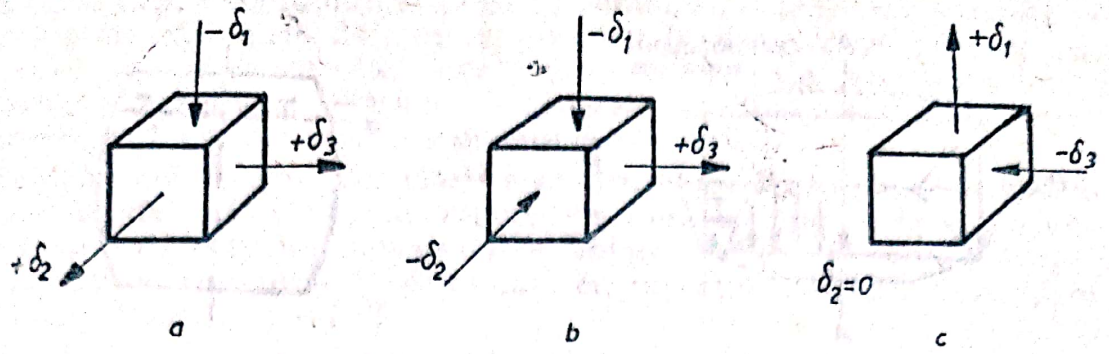


Fig. 5.19. Schema stărilor de deformare: *a* — refulare prin forjare; *b* — laminare, trefilare; *c* — deformare prin extrudare.

Concluziile care se pot trage sînt următoarele:

— suma algebrică a gradelor de deformare logaritmică după trei axe perpendiculare între ele este egală cu zero;

— gradul de deformare logaritmic, care are un semn diferit față de celelalte două, va fi egal, în valoare absolută, cu suma celorlalte două.

Aplicînd legea volumului constant, se poate calcula volumul de material necesar obținerii unui produs prin deformare plastică, precum și schema de solicitare necesară pentru un anumit efect de deformare (fig. 5.19).

5.2.2.2. Legea simultaneității deformațiilor elastice cu cele plastice. Atît timp cît pe un corp deformat plastic se menține sarcina care a produs deformarea permanentă, aceasta, măsurată sub sarcină, corespunde sumei celor două deformații tipice: elastice și plastice. Deformațiile elastice preced deformațiile plastice și se mențin atît timp cît pe material se exercită forța exterioară care le-a produs.

Cunoașterea mărimii deformației elastice maxime, determinată prin încercări mecanice (tracțiune — fig. 3.4, compresiune, răsucire etc.), ajută la dimensionarea corectă a sculelor de deformare. De exemplu, dacă vrem să curbăm o bară după o rază de curbură R, vom folosi o sculă șablon cu o rază de curbură R_1, (fig. 5.20), care va fi mai mică decît R corespunzător deformației elastice maxime, sau pentru realizarea unui arc spiral, cilindrul de înfășurare (scula) va avea un diametru mai mic decît diametrul interior al arcului tot în raport cu deformația elastică maximă, arcul spiral putînd fi ușor scos de pe sculă după ce, lăsat liber, își mărește puțin diametrul interior.

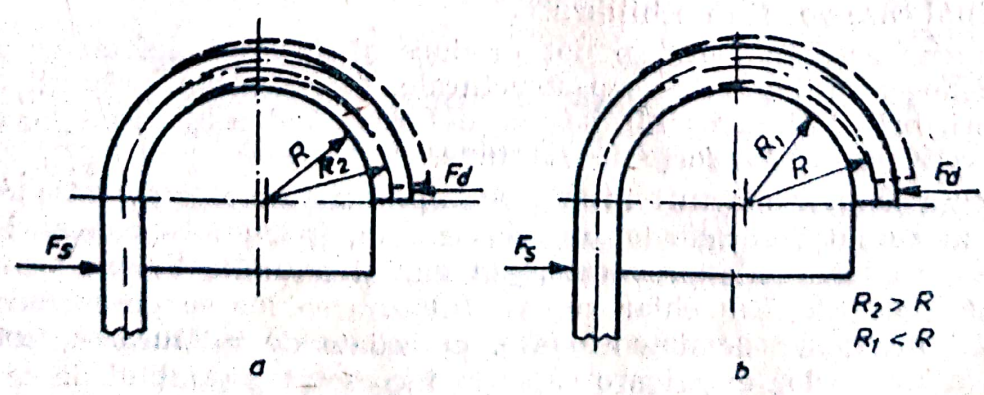


Fig. 5.20. Efectul revenirii elastice.

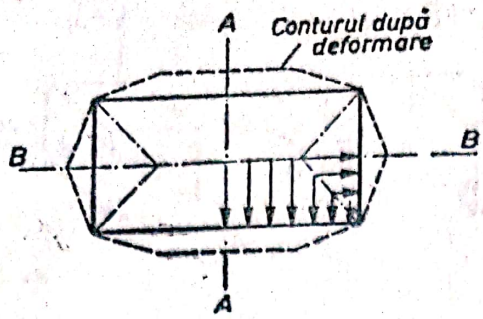


Fig. 5.21. Traiectoriile de minimă rezistență la refulare.

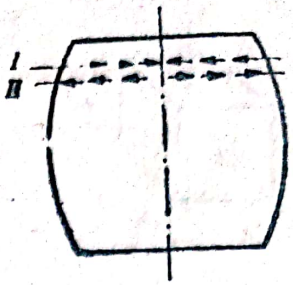


Fig. 5.22. Starea de tensiuni suplimentare în echilibru la deformarea unei piese prin refulare.

5.2.2.3. **Legea rezistenței minime.** Deplasarea materialului în timpul deformării plastice este orientată pe direcțiile de minimă rezistență. Ea are loc după normala cea mai scurtă dusă pe perimetrul suprafeței pe care, prin intermediul sculei, se exercită sarcina exterioară (fig. 5.21). Deformarea maximă se va produce pe direcția pe care se deplasează cea mai mare cantitate de metal, cantitate proporțională cu mărimea suprafețelor de înălțime (normlă) egală. Cele mai mari grade de deformare se pot realiza sub acțiunea unor sarcini exterioare care determină în material tensiuni de compresiune.

Legea rezistenței minime are numeroase aplicații și, în afară de dimensionarea sculelor pentru a obține deformări maxime după direcții dorite, permite și controlul procesului de deformare. Exemplu tipic de aplicare îl constituie matrițarea cu bavură.

5.2.2.4. **Legea echilibrării eforturilor suplimentare.** În timpul deformării plastice, peste eforturile principale provocate de sarcina exterioară, se suprapun eforturi suplimentare a căror direcție și mărime depinde de mai mulți factori și anume: frecarea dintre material și sculă, mărimea și complexitatea formei piesei, omogenitatea termică și structurală a materialului etc. O parte din aceste eforturi interioare suplimentare rămîn în piesă și după înlăturarea forței exterioare și se echilibrează.

De exemplu, la deformarea unei piese simple prin refulare (fig. 5.22), straturile adiacente în mișcarea lor se influențează reciproc. Astfel în timp ce stratul *II* caută să antreneze stratul adiacent *I*, acesta din urmă se va opune frînîndu-l. Astfel în cele două straturi apar tensiuni suplimentare, de întindere în stratul *I*, respectiv de compresiune în stratul *II*, tensiuni care vor fi în echilibru.

Fenomene asemănătoare se pot produce și datorită defectelor de rețea, neomogenității termice sau structurale. De exemplu, grăunții cristalini mari, orientați favorabil, se vor deforma mai mult decît vecinii și vor exercita asupra lor forțe de tracțiune.

Prezența acestor eforturi interioare suplimentare este dăunătoare, deoarece în cursul deformărilor ulterioare, sau, în cursul exploatării prin însumare cu tensiunile provocate, pot depăși anumite limite, provocînd deformări, fisurări sau chiar ruperi. Înlăturarea lor se poate face prin recoaceri ulterioare de detensionare, precedate de înlăturarea, prin așchiere, a straturilor exterioare care țin încorsetat ansamblul de tensiuni interne suplimentare.

Scanned with OKEN Scanner

5.2.2.5. **Legea similitudinii.** Lege cu caracter general, este valabilă și în cazul prelucrării prin deformare plastică. În baza ei se pot face studii pe machete, iar concluziile, dacă se cunosc legile de similitudine, se pot raporta la cazul real. Studiul pe machete prezintă un interes deosebit, deoarece astfel se pot realiza economii considerabile.

În domeniul deformărilor plastice se menționează următoarele raporturi: presiunile de deformare, în raport de unu la unu: $p = p_1$; forțele de deformare, cu patratul dimensiunilor liniare, $F/F_1 = p \cdot S/p_1 \cdot S_1 = l^2/l_1^2$; iar lucrul mecanic total de deformare cu raportul dimensiunilor liniare la puterea a treia $L/L_1 = l^3/l_1^3$.

Aceste rapoarte nu sînt valabile decît în următoarele condiții: ambele corpuri să aibă aceiași stare structurală și chimică, temperatura să fie aceiași și constantă, deformările principale să fie aceleași, coeficienții de frecare dintre sculă și material să fie de valori egale. Deoarece respectarea integrală a condițiilor este dificilă, rezultatele obținute pe modele trebuie corectate cu ajutorul unor coeficienți experimentali.

5.2.3. Determinarea presiunilor și a lucrului mecanic de deformare

Relațiile de calcul pentru determinarea limitei de curgere, prezentate în subcapitolul 5.2.1., consideră materialul izotrop și ideal plastic, supus unor deformări plastice mici. În majoritatea cazurilor reale, unde intervin forme complexe și deformări mari, ele pot duce la rezultate eronate. Utilitatea lor este însă de necontestat, deoarece în cele mai multe situații rezolvarea problemelor se face prin deducție din teoria deformațiilor plastice mici.

Presiunea de deformare, care determină starea de tensiuni din material, luîndu-se în considerare toți factorii care pot interveni în proces ca: neomogenitatea materialului, a temperaturii, a stării de tensiuni, a forțelor de frecare interne și externe, a vitezei de deformare etc., se determină cu relații de forma:

$$p = \omega \cdot \nu \cdot z \cdot m \cdot \beta \cdot \sigma_c',$$

unde: ω este un coeficient ce depinde de viteza de deformare; ν — coeficient ce ține seama de starea de tensiuni și variază între 1...1,75 (1 pentru întindere sau refulare între suprafețe plane; 1,15 ... 1,25 pentru întindere sau refulare între suprafețe profilate; 1,3 ... 1,5 pentru matrițare cu bavură; 1,5 ... 1,75 pentru extrudare); z — coeficient care ține seama de neomogenitatea materialului și a temperaturii (1,0 ... 1,4 pentru deformări la rece și 1,0 ... 2,0 pentru deformări la cald); m — coeficient ce depinde de forțele de frecare, de tipul deformării și geometriei suprafeței de contact a sculei (de ex. pentru o sculă dreptunghiulară $m = 1 + \mu \cdot \left(\frac{3 \cdot b - a}{6 \cdot b}\right) \cdot \frac{a}{h}$, unde μ este coeficientul de frecare dintre sculă și material, iar h înălțimea piesei); β — coeficient ce rezultă din simplificarea relației energetice a plasticității și este cuprins între 1,0 ... 1,15; σ_c' — limita de curgere a materialului corespunzătoare temperaturii la care are loc deformarea.

Lucrul mecanic de deformare se obține cu relația:

$$L_d = p \cdot \delta_{max} = \omega \cdot \nu \cdot z \cdot m \cdot \beta \cdot \sigma_c' \cdot \delta_{max}.$$

Scanned with OKEN Scanner

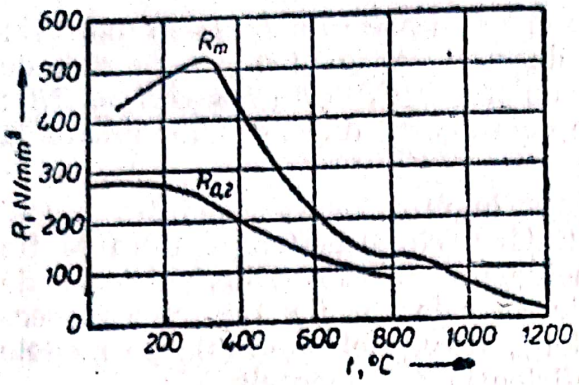


Fig. 5.23. Variația rezistenței de rupere Rm și a limitei de curgere $R_{0,2}$ în funcție de temperatură.

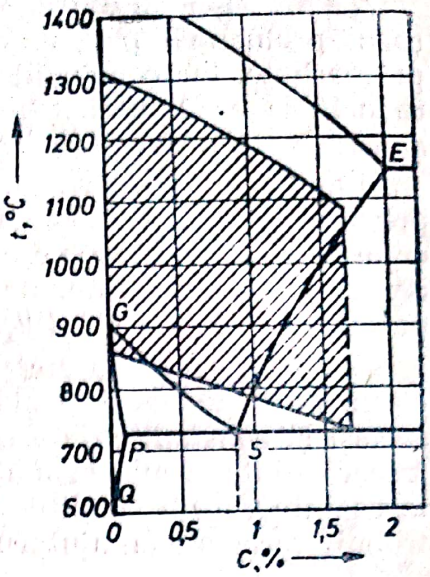


Fig. 5.24. Limitele de temperatură ale domeniului de prelucrare prin deformare la cald pentru oțelurile carbon.

Relația reprezintă energia minimă necesară ce trebuie cheltuită pentru efectuarea unei anumite deformări de mărime dată.

5.2.3.1. **Efectul temperaturii asupra prelucrării prin deformare plastică** se manifestă atît asupra unor mărimi ce caracterizează procesul, ca de exemplu presiunea și lucrul mecanic de deformare, cît și asupra tehnologiei de prelucrare și a proprietăților finale.

Așa cum s-a arătat, prelucrarea prin deformare plastică se poate face la rece sau la cald, departajarea fiind făcută de temperatura critică de recristalizare. Prelucrarea la rece nu conduce numai la ecruisarea materialului ci, ca urmare a ecruisării, la modificarea parametrilor tehnologici și de cele mai multe ori la aplicarea unor recoaceri de recristalizare. Prelucarea la cald are, cel puțin asupra presiunilor și lucrului mecanic de deformare, influențe spectaculoase. De exemplu, în cazul oțelurilor (fig. 5.23), scăderile valorilor lui R_m și $R_{0,2}$ în funcție de temperatură sînt evidente. Prin încălzire se pot obține și alte efecte, mai ales la metale cu transformări alotropice, cînd temperatura de prelucrare va corespunde stării alotropice cu structura cea mai favorabilă prelucrării prin deformare plastică (interval austenitic pentru oțeluri, cînd avem soluția solidă pe bază de Feγ). La fel, prelucrarea devine mai ușoară la temperaturi la care fazele secundare, dure și fragile, dintr-un aliaj sînt dizolvate în masa de bază.

Pentru materialele comune, standardizate sau normalizate, se prevăd limitele practice de temperaturi optime pentru deformarea la cald (tab. 5.1). În figura 5.24 sînt prezentate aceste limite pentru oțelurile carbon.

Prelucrarea la rece care, în general, asigură o precizie dimensională superioară celei obținute prin deformare la cald, se aplică, în mod obligatoriu, numai atunci cînd metalele nu pot fi încălzite și prelucrate în aer, datorită reactivității lor, dimensiunile și forma lor nu asigură păstrarea unei omogenități termice sau conduc la viteze mari de răcire. De asemenea deformarea la rece se folosește atunci cînd vrem să modificăm,

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 5.1

Temperaturile de recristalizare şi de prelucrare la cald a unor metale şi aliaje

Metalul sau aliajul	Temperatura de recristalizare, °C	Temperatura practică de recristalizare, °C	Intervalul de prelucrare la cald °C
Pb	0	20	—
Cd	10	20	—
Sn	0...30	20	—
Zn	10...80	20	150...110
Al, Mg	150	250...350	450...350
Ag, Au, Cu	200	450...550	800...600
Fe, Pt	450	600...700	1300...800
Ni	550	450...550	800...600
Mo	900	1100...1200	—
Ta	1000	1150...1250	—
W	1200	1350...1450	—
Oţeluri carbon	—	600...700	1200...800
Oţeluri slab aliate	—	—	1150...850
Oţeluri austenitice	—	—	1200...900
Duraluminiu	—	—	450...350
Alame	—	400...500	750...600
Aliajul Monel	—	—	1150...900

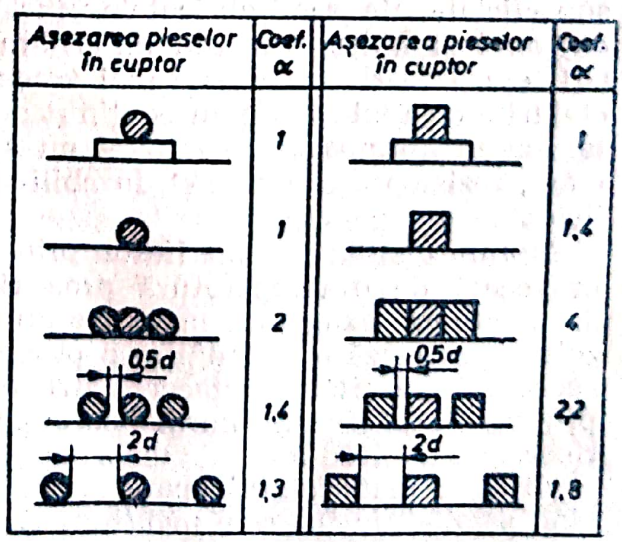


Fig. 5.25. Valoarea coeficientului k_s în funcţie de forma şi modul de aşezare a pieselor în cuptor.

prin ecruisare, și proprietățile mecanice finale, care astfel pot ajunge la valori mult superioare materialului normalizat.

5.2.3.2. **Tehnologia încălzirii materialelor metalice.** Încălzirea corectă a materialelor în vederea prelucrării prin deformare plastică la cald, cazul cel mai frecvent, și chiar pentru aplicarea unor tratamente termice, are o mare importanță, deoarece calitățile finale de ansamblu vor depinde în mare măsură de regimul termic aplicat, inclusiv cel de răcire.

Un proces corect de încălzire trebuie să asigure o temperatură uniformă în toată masa piesei, evitînd apariția unor defecte specifice. Încălzirea corectă trebuie să se facă în două etape, cu viteze de încălzire diferite: prima etapă, pînă la atingerea limitei inferioare a intervalului termic de deformare, cu viteză mică, iar a doua, pînă la limita superioară, cu viteză mai mare. Schimbul de căldură cel mai bun dintre sursă și piesă (randament ridicat) se realizează atunci cînd diferența momentană de temperatură este de +100°C, cel mult +150°C.

Timpul total de încălzire se poate determina pe bază de calcul, folosind relații empirice. O relație mult folosită în practică pentru semifabricate din oțel de forme simple are forma:

$$t = k_1 \cdot k_2 \cdot D \cdot \sqrt{D} \ \text{[ore]},$$

unde: k_1 este un coeficient ce depinde de material (10 pentru oțeluri carbon și slab aliate, 20 pentru oțeluri înalt aliate); k_2 — coeficient ce depinde de forma și modul de așezare a pieselor în cuptor (fig. 5.25); D — diametrul echivalent al secțiunii transversale a piesei, în m.

Cînd încălzirea se face în două etape ($t = t_1 + t_2$), $t_1 = 13{,}3 \cdot k_2 \cdot D\sqrt{D}$, iar timpul necesar celei de-a doua etape, în care se include și menținerea pentru omogenizare va fi: $t_2 = 6{,}7 \cdot k_2 \cdot D\sqrt{D}$.

5.2.3.3. **Defectele ce pot să apară la încălzirea materialelor metalice.** *Oxidarea superficială* are loc datorită oxigenului din gazele de ardere sau din spațiul de lucru al cuptorului. Stratul de oxizi este fragil și în timpul forjării sau laminării la cald, cade. Pierderile prin oxidare, în condiții normale de încălzire, sînt cuprinse între 0,5 ... 1,5% din greutatea inițială a semifabricatului. La un regim nerațional de încălzire sau de deformare, cu una sau mai multe încălziri pot ajunge și la 2 ... 5%.

Decarburarea constă în scăderea conținutului de carbon din straturile superficiale ale semifabricatelor încălzite, prin combinarea acestuia cu oxigenul și hidrogenul din atmosfera cuptorului, formîndu-se CO, CO_2, CH_4 etc. Decarburarea este mai accentuată și deosebit de supărătoare la oțelurile de scule (care au conținut de carbon ridicat), unde, după călire, tocmai în apropierea suprafeței nu se va obține o duritate corespunzătoare, rezistența la uzare și durabilitatea tăișului sculelor devenind insuficiente.

Supraîncălzirea se manifestă prin creșterea pronunțată a grăunților, provocată de o temperatură prea ridicată de încălzire sau de durata de menținere exagerată la temperatură ridicată. Structura grosolană rezultată cauzează o înrăutățire a proprietăților mecanice și tehnologice, în special al tenacității. Refacerea structurii fine, favorabile, se poate realiza printr-o recoacere de normalizare sau printr-o deformare plastică ulterioară, cu un grad mare de deformare.

Arderea materialului apare la temperaturi deosebit de ridicate și/sau cînd semifabricatul este *menținut* timp îndelungat la temperaturi foarte

Scanned with OKEN Scanner

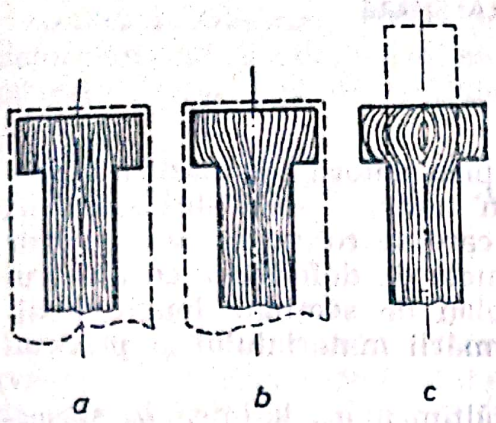


Fig. 5.26. Schema macrostructurii unui bulon executat prin: *a* — strunjire; *b* — prin întinderea tijei; *c* — prin refularea capului.

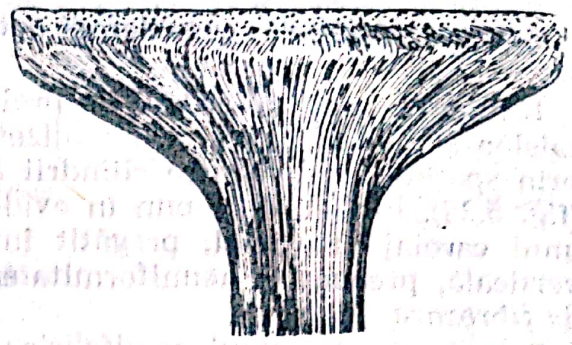


Fig. 5.27. Macrostructura unui cap de supapă forjată prin întindere și refulare

ridicate. Aici oxigenul pătrunde la adîncimi mai mari în metal, formîndu-se rețele de oxizi la limita grăunților, care întrerup continuitatea materialului, făcîndu-l extrem de fragil și practic inutilizabil. Nici prin tratamente termice, nici prin deformări plastice nu se pot restabili ulterior proprietățile pierdute. Materialul poate fi recuperat numai prin retopire.

5.2.3.4. **Consecințele deformării plastice asupra comportării produselor.** Prin deformare plastică, grăunții metalelor se alungesc, deformîndu-se în direcția rezistenței minime, obținîndu-se o structură fibroasă. Structura fibroasă a metalelor deformate face ca acestea să devină anizotrope, proprietățile variind după cum eforturile sînt paralele, perpendiculare sau orientate înclinat față de direcția fibrelor, ca la o bucată de scîndură de brad. Diferențele de valori sînt remarcabile, putînd ajunge pînă la 30—40%. Determinînd orientarea structurii fibroase în concordanță cu tipul și direcția solicitării, se pot realiza produse de calitate superioară cu consumuri minime de material.

Ca exemplu, în figura 5.26 sînt prezentate trei variante tehnologice pentru obținerea unui bulon. În cazul strunjirii din bară laminată, pe lîngă pierderile mari de metal sub formă de așchii, fibrele sînt tăiate și la solicitarea bulonului, eforturile unitare tangențiale sînt orientate de-a lungul fibrelor, ceea ce poate duce mai ușor la smulgerea capului (fig. 5.26, *a*). Aceste dezavantaje pot fi evitate dacă bulonul se fabrică prin forjare, prin întinderea tijei (fig. 5.26, *b*), unde fibrele au o direcție mai favorabilă. Cazul optim este la bulonul forjat prin refularea capului (fig. 5.26, *c*), pornind de la o bară laminată cu diametrul egal cu diametrul tijei, unde fibrele deformate au forma cea mai avantajoasă. Prin aplicarea variantelor *b* și *c* se realizează, totodată, și o însemnată economie de metal.

În figura 5.27 este dată secțiunea longitudinală printr-un corp de supapă obținut prin refulare.

În concluzie, piesele fabricate prin deformare sînt superioare, în ceea ce privește proprietățile, celor obținute prin turnare, deoarece în afară de structură fibroasă, sînt lipsite de defecte de goluri provenite din turnare (retasura, sufluri etc.).

Scanned with OKEN Scanner

5.3.1. Laminarea — considerații generale

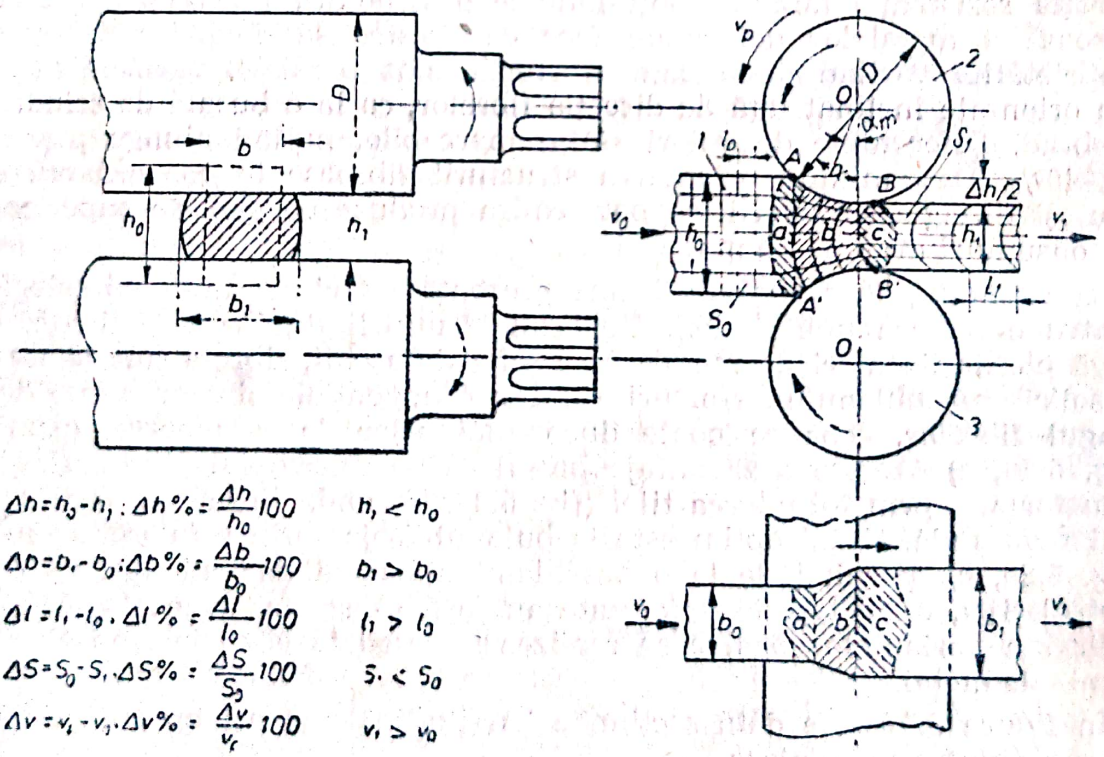
Laminarea este procedeul de prelucrare prin deformare plastică a metalelor și aliajelor, care se realizează prin trecerea semifabricatului *1*, prin spațiul cuprins între cilindrii *2* și *3*, care se rotesc în sens contrar (fig. 5.28). În figură se pun în evidență zonele de deformare cu ajutorul unui caroiaj ortogonal, pregătit într-un plan de secțiune longitudinal-verticală, precum și neuniformitatea deformării materialului și *procesul de fibrozare*.

Prin laminarea unui semifabricat cu înălțimea h_0, lățimea b_0 și secțiunea transversală S_0, se obține o înălțime mai mică h_1, o lățime mai mare b_1 și o secțiune mai mică S_1. În același timp, lungimea inițială l_0 a semifabricatului crește la lungimea finală l_1, în așa fel ca să se respecte legea volumului constant:

$$V = S_0 \cdot l_0 = S_1 \cdot l_1. \tag{5.1}$$

Prin micșorarea secțiunii și creșterea lungimii, în timpul laminării crește și viteza inițială v_0 la valoarea v_1. Din relația (5.1) rezultă *coeficientul de lungire liniară* λ:

$$\lambda = \frac{l_1}{l_0} = \frac{S_0}{S_1} = \frac{v_1}{v_0} > 1. \tag{5.2}$$



$\Delta h = h_0 - h_1 ; \Delta h\% = \frac{\Delta h}{h_0} 100$ $\quad h_1 < h_0$

$\Delta b = b_1 - b_0 ; \Delta b\% = \frac{\Delta b}{b_0} 100$ $\quad b_1 > b_0$

$\Delta l = l_1 - l_0 . \Delta l\% = \frac{\Delta l}{l_0} 100$ $\quad l_1 > l_0$

$\Delta S = S_0 - S_1 . \Delta S\% = \frac{\Delta S}{S_0} 100$ $\quad S_1 < S_0$

$\Delta v = v_1 - v_0 . \Delta v\% = \frac{\Delta v}{v_1} 100$ $\quad v_1 > v_0$

Fig. 5.28. Principiul procesului de laminare: *1* — semifabricatul supus laminării; *2* — și *3* — cilindrii laminorului; *a* — zona de prindere; *b* — zona de laminare propriu-zisă; *c* — zona de ieșire a materialului dintre cilindri; Δh — reducerea liniară; $\Delta h\%$ — reducerea procentuală Δb — lățirea liniară; $\Delta b\%$ — lățirea procentuală; Δl — lungirea liniară; $\Delta l\%$ — lungirea procentuală; $\Delta S\%(R)$ — gradul de laminare; $\Delta v\%$ — creșterea procentuală a vitezei.

Scanned with OKEN Scanner

Gradul de laminare R arată gradul de deformare, adică micşorarea secţiunii, exprimată în %, faţă de secţiunea iniţială:

$$R = \frac{\Delta S}{S_0} \cdot 100 = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \cdot 100 \ [\%]. \qquad (5.3)$$

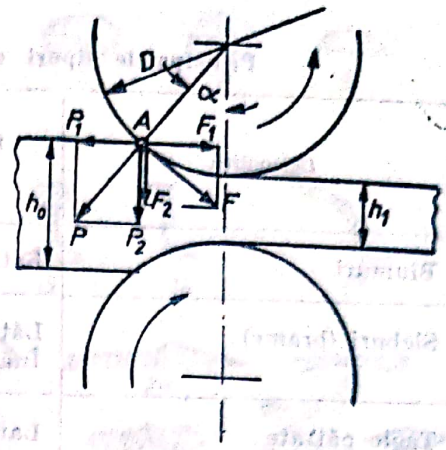


Fig. 5.29. Forţele din zona de deformare.

Cilindrii realizează atît deformarea, cît şi avansul semifabricatului, datorită frecării care se produce între suprafeţele cilindrilor şi materialul de laminat. Pentru ca operaţia de laminare să decurgă bine, se cere ca semifabricatul să fie prins şi antrenat de cilindri. Această condiţie se realizează cînd componenta axială F_1 a forţei de frecare F, este mai mare decît componenta axială P_1 a forţei de deformare P (fig. 5.29), deci $F_1 > P_1$, dar:

$$F_1 = \mu \cdot P \cdot \cos \alpha \quad \text{şi} \quad P_1 = P \cdot \sin \alpha, \qquad (5.4)$$

unde: P este forţa de deformare: μ — coeficientul de frecare; α — unghiul de prindere. Pe baza relaţiilor (5.4) reiese:

$$\mu \cdot P \cdot \cos \alpha > P \cdot \sin \alpha, \qquad (5.5)$$

de unde:

$$\operatorname{tg} \alpha < \mu, \qquad (5.6)$$

adică *condiţia laminării* se realizează cînd tangenta unghiului de prindere este mai mare decît tangenta unghiului de frecare, respectiv coeficientul de frecare μ. Pentru laminarea la rece: $\mu < 0{,}10 \ldots 0{,}12$; $\alpha < 7°$, iar pentru laminarea la cald: $\mu < 0{,}5$; $\alpha < 22° \ldots 24°$.

Unghiul α depinde de înălţimea semifabricatului înainte şi după deformare ($h_0 - h_1 = \Delta h$) şi de diametrul D al cilindrilor, conform relaţiei dedusă din figura 5.28:

$$\cos \alpha = \frac{\frac{D}{2} - \frac{\Delta h}{2}}{\frac{D}{2}} = 1 - \frac{\Delta h}{D}, \text{ sau } \Delta h = D(1 - \cos \alpha). \qquad (5.7)$$

Înlocuind pe Δh cu $h_0 - h_1$ şi punînd condiţia ca $\operatorname{tg} \alpha < \mu$, rezultă *condiţia limită a laminării*:

$$h_1 \geqslant h_0 - D\,(1 - \cos \alpha \cdot \operatorname{arc\,tg} \mu). \qquad (5.8)$$

Datorită creşterii continue a vitezei materialului laminat în zona de deformare, viteza de intrare v_0 este mai mică decît viteza periferică v_p a cilindrilor, după punctul de prindere A urmînd succesiv: zona de întîrziere a vitezei semifabricatului, apoi zona neutră sau a vitezelor egale şi după aceasta, zona de avans a vitezei semifabricatului faţă de viteza periferică a cilindrilor, viteza de ieşire v_1 fiind deja mult mai mare decît v_p.

Prin laminare se pot obţine table, platbenzi, bare cu secţiune patrată, rotundă, hexagonală, profile cornier, I, U, T, şine de cale ferată, ţevi etc. (fig. 5.30 şi tab. 5.2).

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 5.2

Principalele tipuri de semifabricate obținute prin laminare

Denumirea	Dimensiunile caracteristice ale secțiunii, în mm	Lungimi de livrare, în m	Standardizat în STAS
Blumuri	Latura 150...400	1,5...6	436-80
Sleburi (brame)	Lățimea maximă 1800 Înălțimea minimă 70	1,5...7	436-80
Țagle pătrate	Latura 40...140	1,4...12	436-80
Țagle plate	Lățimea 140...280 Înălțimea 35...70	—	436-80
Platine	Lățimea minimă 200 Grosimea minimă 6	până la 6,5	6791-71
Țagle rotunde pentru țevi	Diametrul 80...350	3...9	2881-80
Oțel rotund	Diametrul 12...300	3...6...(10)	333-80
Oțel pătrat	$a = 8 \ldots 140$	3...9	334-80
Oțel hexagonal	Deschiderea cheii 8...63	3...6	7828-78
Oțel lat	Lățimea 12...150 Grosimea 5...50	3...7	395-80
Oțel cornier cu aripi egale	$a = 20 \ldots 160$	4...12	424-80
Oțel cornier cu aripi neegale	$a \times b = 25 \times 16 \ldots 250 \times 160$	4...12	425-80
Oțel I	Înălțimea 8...40	6...15	565-80
Oțel U	Lățimea 5...30	6...15	564-80
Oțel T	$h = a = 20 \ldots 50$	4...8	566-80
Șine de cale ferată	—	până la 3,0	1954-80 1900-80
Oțel pentru arcuri	Lățimea 75...120 Grosimea 10...16	5...8	909-80
Table groase	Lățimea 800...3000 Grosimea 5...150	până la 15	437-70 (și altele)
Table subțiri	Lățimea 330...1000 Grosimea 0,25...1,0	0,7...2	1946-80 (și altele)
Sîrme	Diametrul 5...12	masa colacilor până la 450 kg	563-80

Scanned with OKEN Scanner

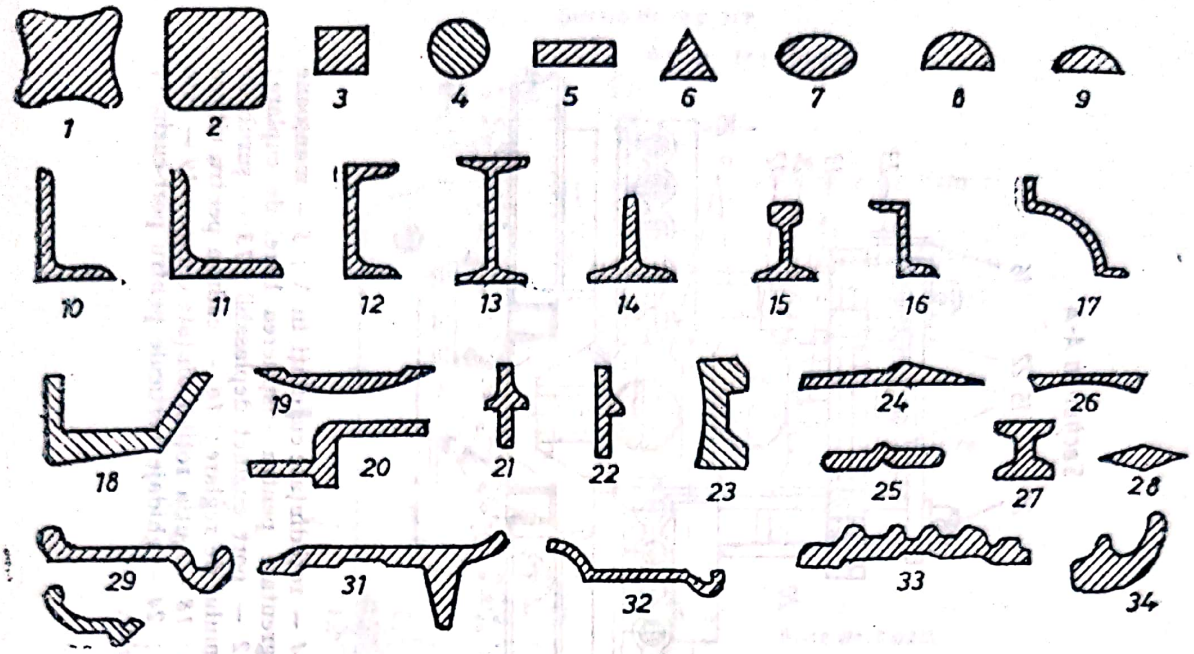


Fig. 5.30. Principalele tipuri de laminate: *1* — blumuri; *2* — ţagle; *3* — bare pătrate; *4* — bare rotunde; *5* — oţel lat; *6* — bară triunghiulară; *7* — bară ovală; 8, 9 — bare semirotunde; *10* — cornier cu aripi inegale; *11* — cornier cu aripi egale; *12* — profil U; *13* — profil I; *14* — profil T; *15* — şină de cale ferată; *16* — profil Z; *17* ... *20* — profile speciale; *21*, *22* — profile pentru ferestre metalice; *23*, *24* — profile pentru maşini agricole; *25* — bandă de oţel canelat pentru arcuri; *26* ... *34* — diferite profile speciale, pentru construcţia de tractoare, maşini agricole, vase, maşini de cusut etc.

5.3.2. Descrierea şi clasificarea laminoarelor

Principalul element al unui laminor simplu (fig. 5.31) este *caja de laminare*, în care se găsesc cilindrii de laminare. O serie de elemente anexe (caja de antrenare, barele şi manşoanele de cuplare, motorul şi dispozitivul de reglare cu şuruburi a distanţei dintre cilindrii de lucru, căile cu role, ghidajele, răsturnătoarele etc.) asigură desfăşurarea procesului de laminare în condiţii de maximă productivitate şi securitate. Caja de laminare se compune din două cadre (fig. 5.32) fixate pe şinele de bază şi legate între ele cu buloane sau traverse de distanţare.

Laminoarele se clasifică după destinaţie (bluminguri, slebinguri, laminoare pentru table, laminoare pentru profile etc.), sau, mai adesea, după numărul cilindrilor dintr-o cajă de laminare (fig. 5.33).

Laminoarele trio elimină dificultăţile de la antrenarea laminoarelor duo reversibile (cu doi cilindri), care folosesc *sisteme Ward—Leonard*, compuse dintr-un generator de curent continuu, acţionat de un motor electric de curent alternativ şi motorul de curent continuu care apoi pune în mişcare laminorul. Aici trecerile succesive de laminare prin mişcarea dute-vino a semifabricatului şi apropierea treptată a cilindrilor, necesită ridicări şi coborîri între nivelele *I* şi *II*, cu ajutorul celor două *mese basculante cu role* (fig. 5.34). *Laminorul trio Lauth* are în mijloc un cilindru neacţionat şi de diametru mai mic, care după laminarea la nivelul *I* este coborît, ca materialul să se întoarcă la nivelul *II* între cilindrii *1* şi *2* (fig. 5.33, *b*). Acest cilindru mic este rotit datorită frecării cu unul dintre cei doi cilindri acţionaţi direct de la motor.

Scanned with OKEN Scanner

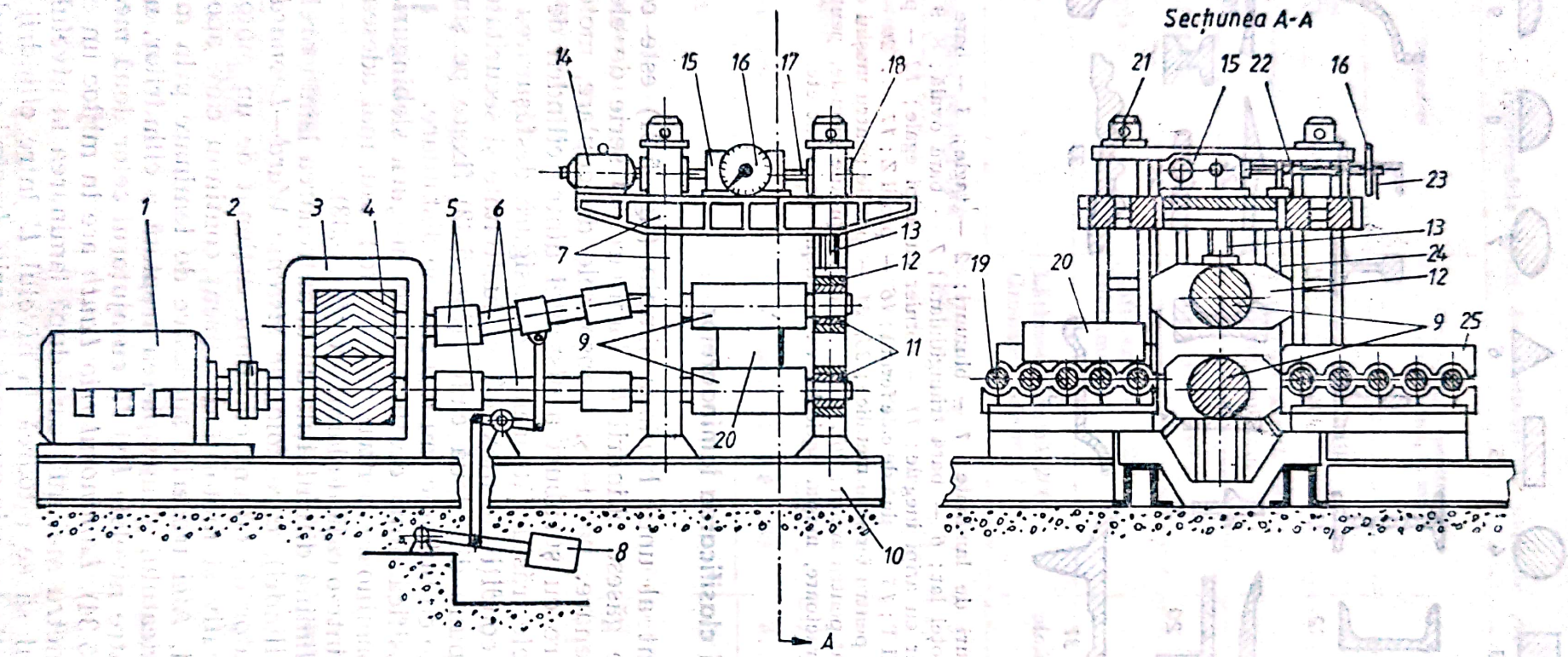


Fig. 5.31. Schema unui laminor duo: *1* — motor; *2* — cuplă; *3* — cajă de angrenare; *4* — roți dințate cu dinți în V; *5* — manșoane de cuplare; *6* — bare de cuplare; *7* — cajă de lucru; *8* — mecanism cu contragreutate pentru susținerea barei de cuplare; *9* — cilindri de laminare; *10* — șine de bază; *11* — lagăre de alunecare (cuzinet); *12* — port cuzinet deplasabil; *13* — șurub de reglare a distanței dintre cilindri; *14* — motor pentru reglare; *15* — reductorul sistemului de reglare; *16* — cadran pentru citirea distanței dintre cilindri; *17* — arbore de transmitere a mișcării spre șuruburile de reglare; *18* — cutia roților dințate conice; *19* — cale cu role; *20* — semifabricat; *21* — piuliță; *22* — arborele arătătorului; *23* — arătător; *24* — ghidaje verticale pentru port-cuzinet; *25* — cutia mecanismului de antrenare a rolelor.

Scanned with OKEN Scanner

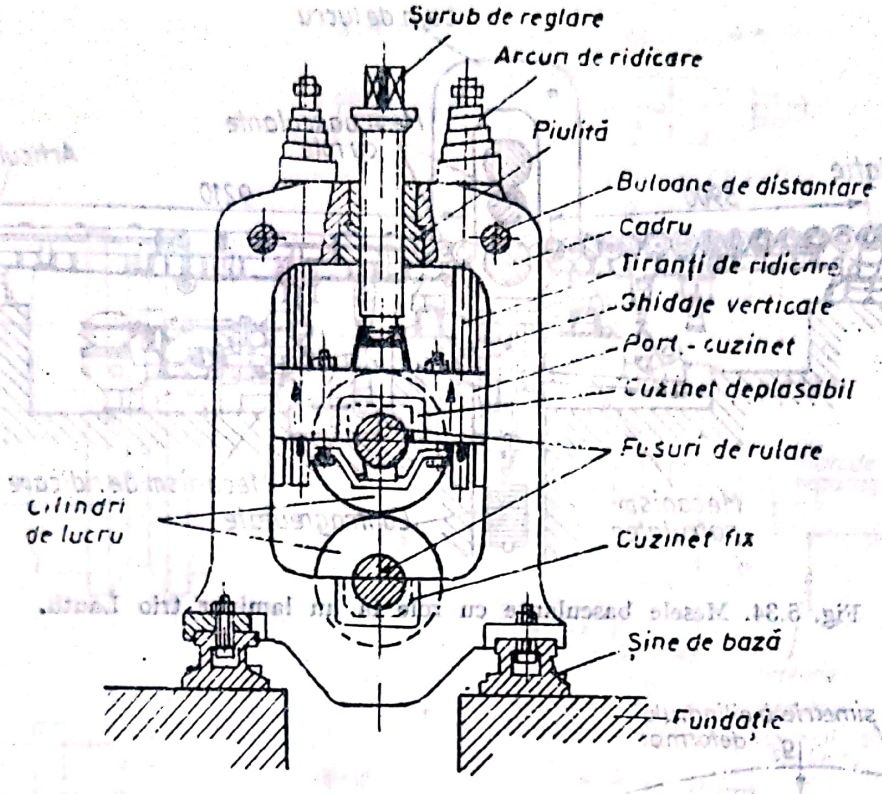


Fig. 5.32. Schema unui cadru dintr-o cajă de lucru.

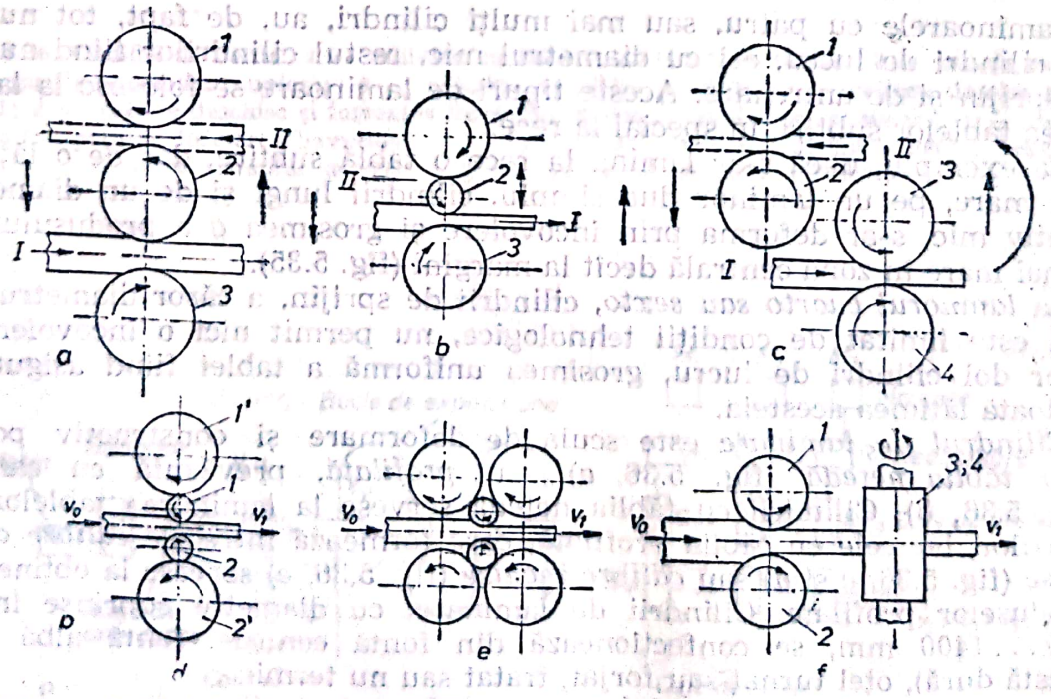


Fig. 5.33. Schema de așezare a cilindrilor în laminoarele de diferite tipuri: *a* — laminor trio; *b* — laminor trio-Lauth; *c* — laminor dublu duo; *d* — laminor cuarto; *e* — laminor sexto; *f* — laminor universal (pentru reducerea înălțimii și lățimii semifabricatului).

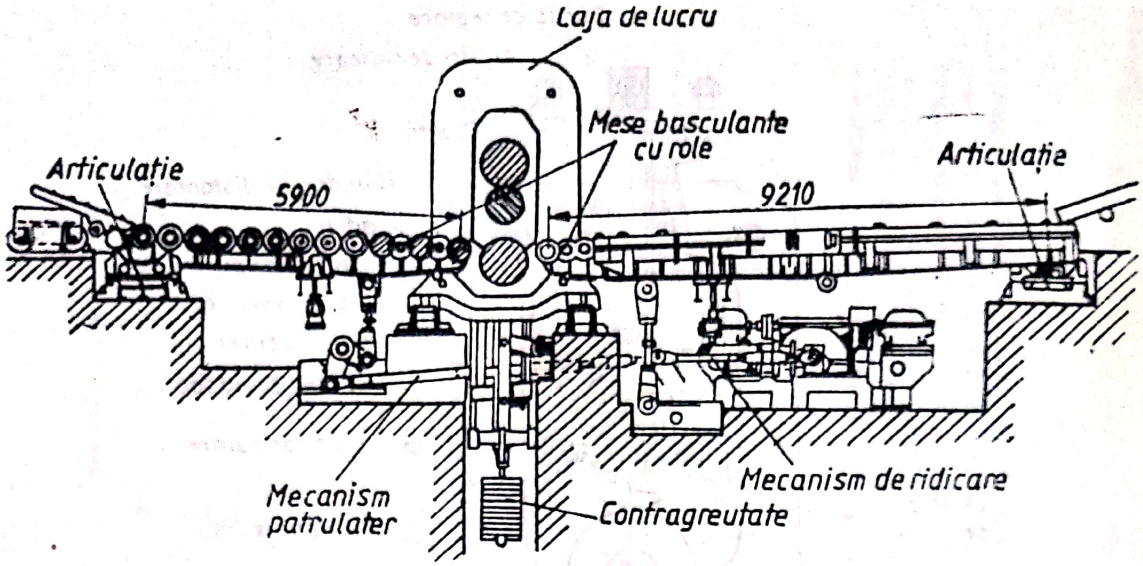


Fig. 5.34. Mesele basculante cu role la un laminor trio Lauth.

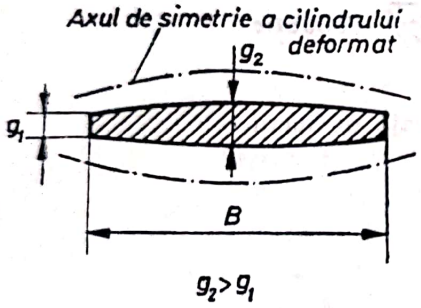


Fig. 5.35. Apariția neuniformității grosimii tablei subțiri, datorită deformării prin încovoiere a cilindrilor de laminare.

Laminoarele cu patru, sau mai mulți cilindri, au, de fapt, tot numai doi cilindri de lucru, cei cu diametrul mic, restul cilindrilor fiind numai de sprijin și de antrenare. Aceste tipuri de laminoare se folosesc la laminarea tablelor subțiri, în special la rece.

Ca exemplu, dacă s-ar lamina la rece o tablă subțire, dar de o lățime mai mare, pe un laminor duo simplu, cilindrii lungi și de un diametru relativ mic, s-ar deforma prin încovoiere și grosimea g a produsului ar fi mai mare în zona centrală decît la margini (fig. 5.35).

La *lamnorul cuarto sau sexto,* cilindrii de sprijin, a căror diametru nu mai este limitat de condiții tehnologice, nu permit nici o încovoiere a celor doi cilindri de lucru, grosimea uniformă a tablei fiind asigurată pe toată lățimea acesteia.

Cilindrul de laminare este scula de deformare și constructiv poate avea *tăblia netedă* (fig. 5.36, *a*) sau *profilată,* prevăzută cu canale (fig. 5.36, *b*). Cilindrii cu tăblia netedă servesc la laminarea tablelor și benzilor, iar cele cu tăblia profilată, care formează între ele *calibre deschise* (fig. 5.36, *c* și *d*) sau *calibre închise* (fig. 5.36, *e*) servesc la obținerea produselor profilate. Cilindrii de laminare, cu diametre cuprinse între 200 . . . 1400 mm, se confecționează din fontă cenușie, fontă albă (cu crustă dură), oțel turnat sau forjat, tratat sau nu termic.

Deoarece *gradul total de deformare* nu se poate realiza printr-o singură trecere, este necesar un număr relativ ridicat de *treceri,* fiecare trecere fiind caracterizată de *gradul de laminare R.* În sfera laminoarelor de

Scanned with OKEN Scanner

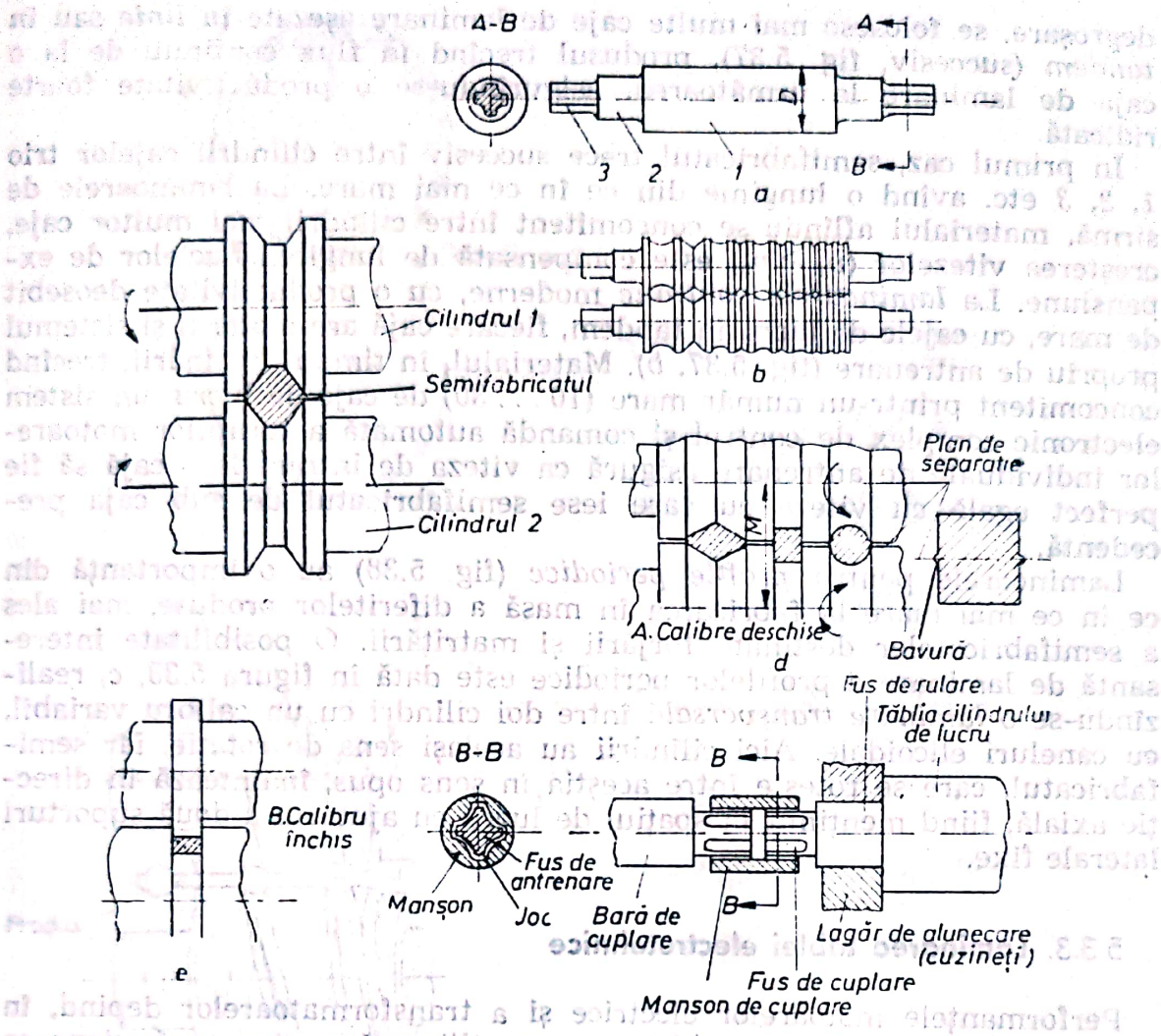


Fig. 5.36. Cilindri de lucru: *a* — cilindru cu tăblie netedă; *1* — tăblia; *2* — fus de rulare; *3* — fus de antrenare (cuplare); *b* — cilindru cu tăblia profilată; *c* — calibru deschis hexagonal; *d* — calibre deschise și formarea bavurilor în zona planului de separație; *e* — calibru închis (nu permite formarea bavurilor); *f* — jocul dintre profilul de trefla a fusului, respectiv a manșonului permite reglarea distanței axiale a cilindrilor.

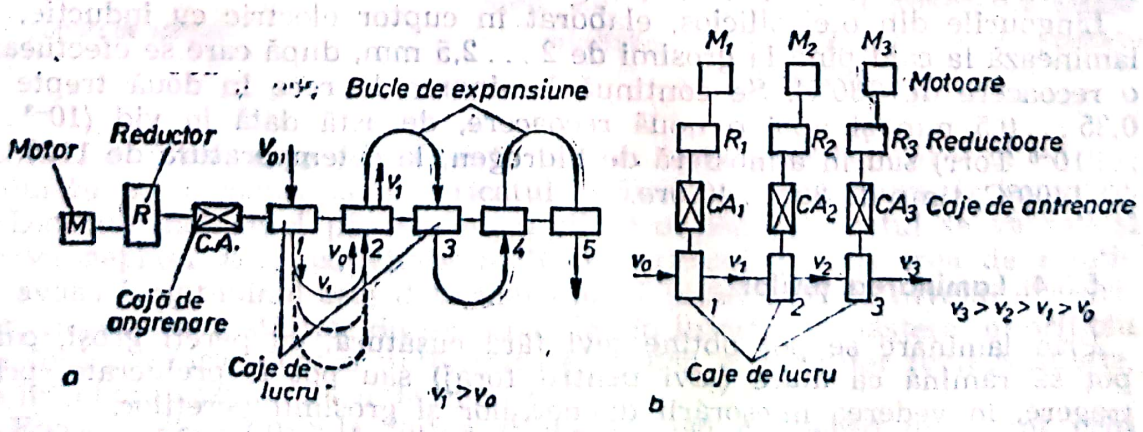


Fig. 5.37. Linii de laminare: *a* — cu 5 caje de lucru așezate în linie; *b* — cu 3 caje de lucru așezate în tandem.

degroșare, se folosesc mai multe caje de laminare așezate *în linie* sau *în tandem* (succesiv, fig. 5.37), produsul trecînd în flux continuu de la o cajă de laminare la următoarea, asigurîndu-se o productivitate foarte ridicată.

În primul caz, semifabricatul trece succesiv între cilindrii cajelor trio *1*, *2*, *3* etc. avînd o lungime din ce în ce mai mare. La laminoarele de sîrmă, materialul aflîndu-se concomitent între cilindrii mai multor caje, creșterea vitezelor ($v_1 > v_0$) este compensată de lungirea buclelor de expansiune. La *laminoarele continue* moderne, cu o productivitate deosebit de mare, cu cajele de lucru în tandem, fiecare cajă are motorul și sistemul propriu de antrenare (fig. 5.37, *b*). Materialul, în timpul laminării, trecînd concomitent printr-un număr mare (10 . . . 30) de caje de lucru, un sistem electronic complex de control și comandă automată a turațiilor motoarelor individuale de antrenare asigură ca viteza de intrare la o cajă să fie perfect egală cu viteza cu care iese semifabricatul de sub caja precedentă.

Laminoarele pentru *profile periodice* (fig. 5.38) au o importanță din ce în ce mai mare la fabricarea în masă a diferitelor produse, mai ales a semifabricatelor destinate forjării și matrițării. O posibilitate interesantă de laminare a profilelor periodice este dată în figura 5.38, *c*, realizîndu-se o *laminare transversală* între doi cilindri cu un calibru variabil, cu caneluri elicoidale. Aici cilindrii au același sens de rotație, iar semifabricatul, care se rotește între aceștia în sens opus, înaintează în direcție axială, fiind menținut în spațiul de lucru cu ajutorul a două suporturi laterale fixe.

5.3.3. Laminarea tablei electrotehnice

Performanțele motoarelor electrice și a transformatoarelor depind, în mare măsură, de calitatea tablei care se utilizează pentru confecționarea rotoarelor, statoarelor și miezurilor. În afară de compoziția chimică, tabla trebuie să prezinte și un grad mare de izotropie, asigurat, în special, de procesul de laminare, efectuat prin treceri succesive după direcții încrucișate.

În acest scop se utilizează materiale cu un conținut de 0,03 . . . 0,04% C și 2,9 . . . 3,5% Si, prin care se asigură o permeabilitate magnetică și o inducție remanentă mare. Din aceste materiale se obțin, prin laminare, table cu grosimi de 0,15; 0,20; 0,25 și 0,3 mm.

Lingourile din oțel silicios, elaborat în cuptor electric cu inducție, se lamineză la cald pînă la grosimi de 2 . . . 2,5 mm, după care se efectuează o recoacere de 780°C. Se continuă laminarea la rece în două trepte la 0,35 . . . 0,5 mm și apoi o nouă recoacere, de astă dată în vid (10^{-3} . . . . . 10^{-6} Torr) sau în atmosferă de hidrogen, la o temperatură de 1100 . . . . . 1400°C, timp de 20 . . . 40 ore.

5.3.4. Laminarea țevilor

Prin laminare se pot obține țevi fără cusătură, cu pereți groși, care pot să rămînă ca atare (țevi pentru foraj) sau pot fi prelucrate, prin tragere, în vederea micșorării diametrelor și grosimii pereților.

Procedeul de laminare, pentru obținerea *eboșelor*, numit Mannesmann, este reprezentat schematic în figura 5.39. Astfel, între doi cilindri cu

Scanned with OKEN Scanner

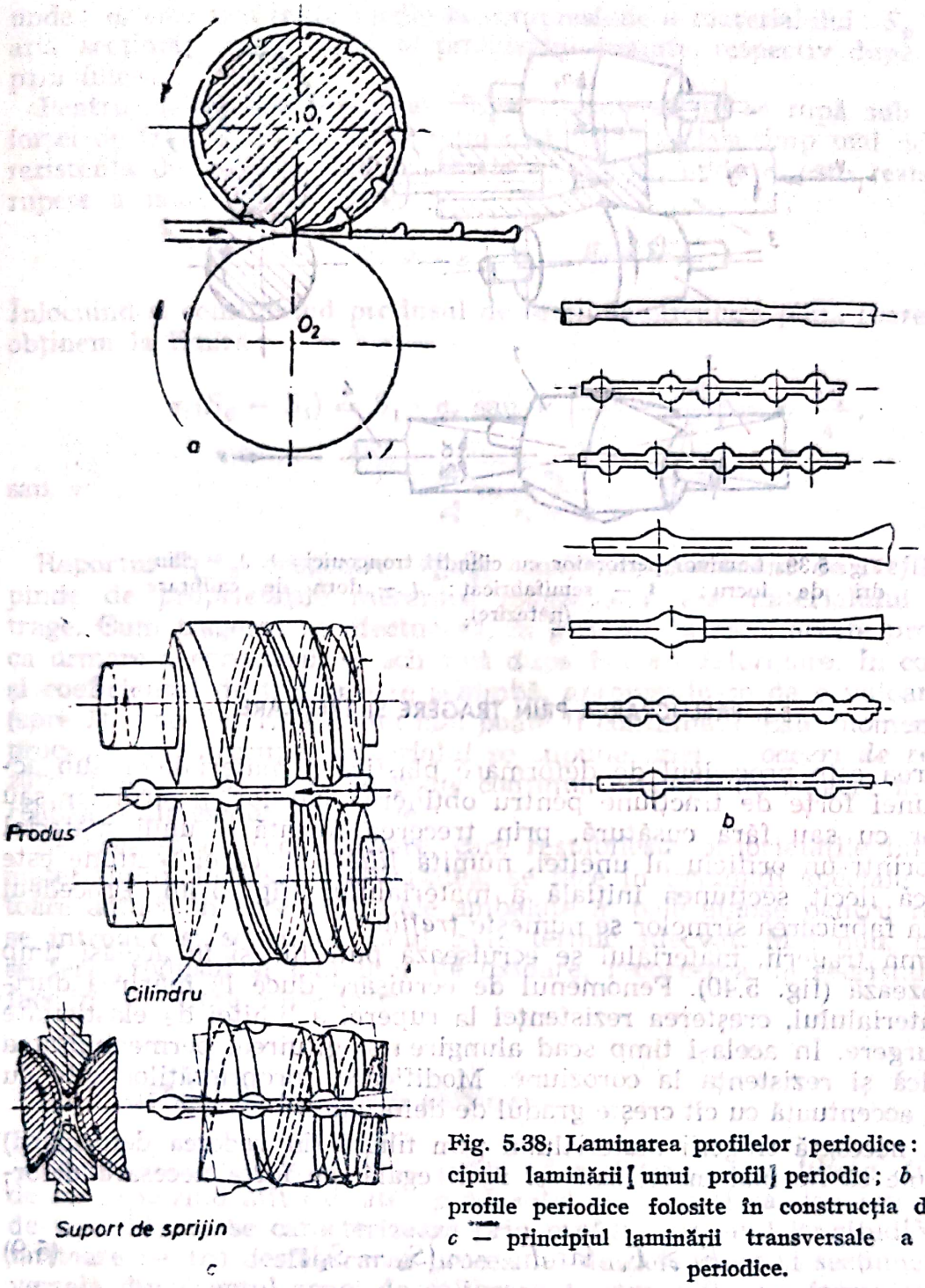


Fig. 5.38. Laminarea profilelor periodice: *a* — principiul laminării [unui profil] periodic; *b* — diferite profile periodice folosite în construcția de mașini; *c* — principiul laminării transversale a profilelor periodice.

conicitate dublă, care se rotesc în același sens, înclinați între ei cu unghiul 2α, se introduce semifabricatul încălzit la temperatura de laminare.

Datorită înclinației pe care o au cilindrii, semifabricatul se va roti și se va deplasa axial cu viteza v. Semifabricatul în mișcarea de rotație și avans longitudinal este deformat numai superficial, la nivelul cilindrilor, ca urmare a stărilor de tensiune, iar în interior ia naștere un orificiu de formă conică. Pentru uniformizarea găurii și pereților țevii rezultate, se întrebuințează un dorn de netezire.

Eboșele sînt aduse la forma finită de țevi cu pereți groși, tot prin laminare, pe laminoare cu pas de pelerin și calibrate pe laminoare duo.

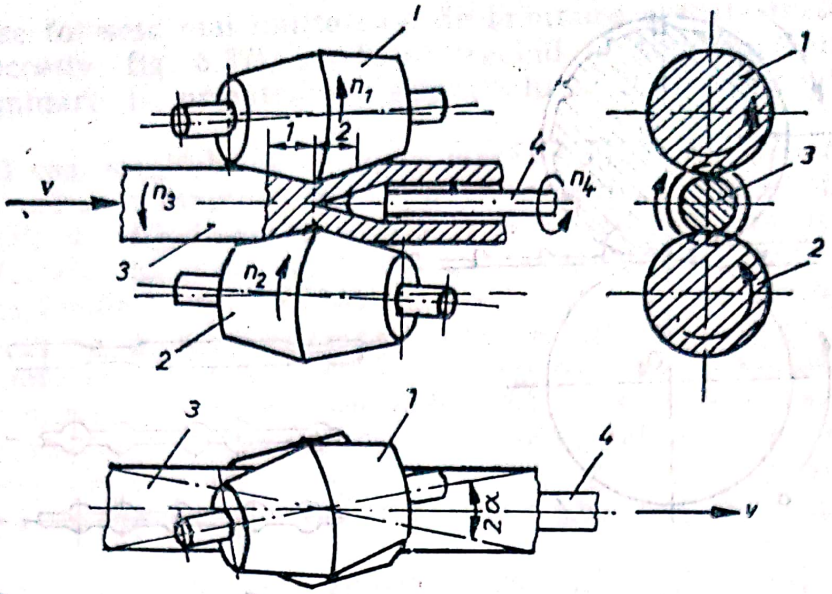


Fig. 5.39. Laminor perforator cu cilindri tronconici: *1, 2* — cilindri de lucru; *3* — semifabricat; *4* — dorn de calibrare (netezire).

5.4. PRELUCRAREA PRIN TRAGERE ȘI TREFILARE

Tragerea este procedeul de deformare plastică a materialelor sub acțiunea unei forțe de tracțiune pentru obținerea barelor, a sîrmelor sau a țevilor cu sau fără cusătură, prin trecerea forțată a unui material ductil, printr-un orificiu al uneltei, numită *filieră*, a cărei secțiune este mai mică decît secțiunea inițială a materialului (fig. 5.40). Procedeul aplicat la fabricarea sîrmelor se numește *trefilare*.

În urma tragerii, materialul se ecruisează puternic și în același timp se fibrozează (fig. 5.40). Fenomenul de ecruisare duce la mărirea durității materialului, creșterea rezistenței la rupere, a limitei de elasticitate și de curgere. În același timp scad alungirea și gîtuirea, permeabilitatea magnetică și rezistența la coroziune. Modificarea proprietăților este cu atît mai accentuată cu cît crește gradul de deformare.

Forța necesară tragerii materialului prin filieră (în vederea deformării) F_t trebuie să fie mai mare, sau cel mult egală, cu forța necesară deformării F_d,

$$F_t \geqslant F_d, \text{ iar } F_d = \sigma_c(S_0 - S_1), \tag{5.9}$$

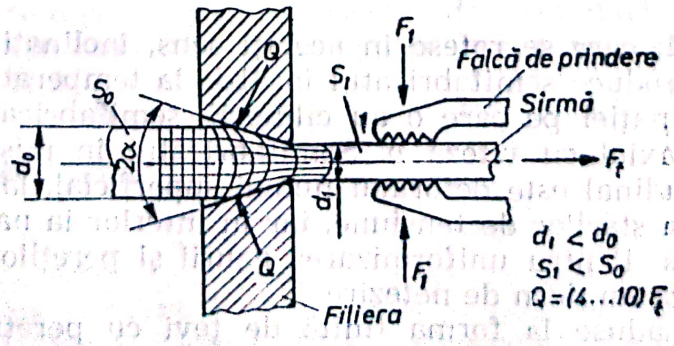


Fig. 5.40. Schema procesului de tragere.

Scanned with OKEN Scanner

unde: σ_c este rezistența medie la compresiune a materialului; S_0 și S_1 — aria secțiunii transversale a produsului înainte, respectiv după trecerea prin filieră.

Pentru ca produsul rezultat după tragere să nu se rupă sub acțiunea forței de tragere F_t, aceasta trebuie să fie în același timp mai mică decît rezistența de rupere a produsului $F_r = S_1 \cdot \sigma_r$, unde σ_r este rezistența la rupere a materialului. Deci:

$$F_t \geqslant F_d \quad \text{și} \quad F_t \leqslant F_r.$$

Înlocuind și considerînd produsul de secțiune circulară plină (bare, sîrme), obținem la limită:

$$\sigma_c(S_0 - S_1) = S_1 \cdot \sigma_r \text{ sau } \sigma_c\left(\frac{\pi d_0^2}{4} - \frac{\pi d_1^2}{4}\right) = \sigma_r \frac{\pi d_1^2}{4}, \tag{5.10}$$

sau

$$\frac{d_1^2}{d_0^2} = \frac{\sigma_c}{\sigma_r + \sigma_c}. \tag{5.11}$$

Raportul S_1/S_0, respectiv d_1^2/d_0^2, considerat *coeficient de trefilare*, depinde de proprietățile mecanice momentane ale materialului care se trage. Cum tragerea se efectuează, în general, la rece, aceste proprietăți, ca urmare a ecruisării, se schimbă după fiecare deformare. În consecință și coeficientul de trefilare se schimbă, apropiindu-se de o valoare limită (spre 1), cînd deformarea nu mai poate fi continuată. Este momentul cînd procesul se întrerupe, materialul se supune unei *recoaceri de recristalizare* și abia după aceea se poate continua procesul de tragere în vederea realizării dimensiunilor finale.

Recoacerea de recristalizare, care restabilește proprietățile inițiale ale materialului, inclusiv plasticitatea, se face în instalații speciale, în cuptoare adînci, în care produsele ambalate în oale etanșe pentru recoacere se introduc și se supun unui ciclu termic adecvat. Mai nou, pentru a se feri produsul și mai bine de oxidare, recoacerea de recristalizare se face în atmosferă protectoare.

5.4.1. Utilajul de tragere și trefilare

Principala sculă folosită în procesul de tragere este *filiera* (fig. 5.41), de ea depinzînd atît calitatea produsului tras, cît și randamentul mașinii de tras. Filiera se caracterizează prin profilul secțiunii longitudinale, hotărîtoare pentru desfășurarea procesului de deformare și secțiunea transversală din dreptul zonei de calibrare *4*, care definește forma și dimen-

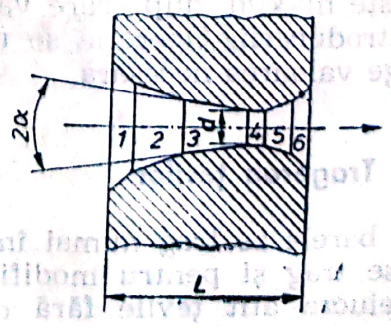


Fig. 5.41. Secțiune longitudinală printr-o filieră: *1* — con de intrare; *2* — con de ungere; *3* — con de lucru (de deformare); *4* — zonă cilindrică de calibrare; *5* — con de degajare; *6* — con de ieșire.

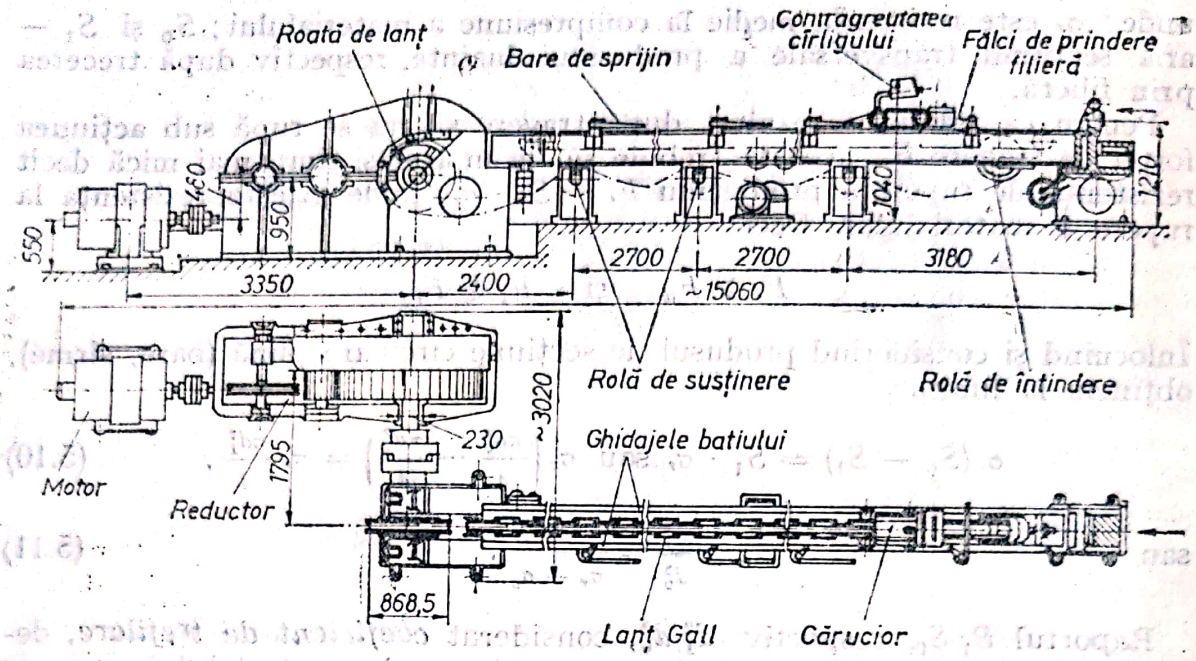


Fig. 5.42. Schema unui banc de tras bare.

siunea secțiunii transversale a produsului. Valoarea unghiului de vîrf 2α a zonei de deformare *3*, va fi cu atît mai mare, cu cît materialul este mai plastic (pentru oțeluri moi $2\alpha = 16 \ldots 20°$; pentru oțeluri semitari $2\alpha = 8 \ldots 12°$). Filierele monolitice sau compuse pot fi executate din diferite materiale ca: fontă albă, oțeluri pentru scule carbon sau aliate, *aliaje dure* sau diamant.

Mașinile de tras sînt de mai multe feluri; astfel pentru tras bare sau țevi avem *bancurile de tras* (fig. 5.42) și mașina de trefilat pentru trefilarea sîrmelor. *Mașinile de trefilat* pot să fie *singulare*, cu o singură filieră (fig. 5.43, *a*) — pentru sîrme groase și *mașini multiple*, cînd sîrma, între două înfășurări complete, trece succesiv prin mai multe filiere, fiind trasă de tobe intermediare de tragere (fig. 5.43, *b*). Viteza (lungimea) sîrmei crescînd după fiecare trecere printr-o filieră, tobele de tras T trebuie să aibă viteze periferice din ce în ce mai mari, rapoartele de transmitere a perechilor de roți dințate conice crescînd de la tobă la tobă, respectiv diametrul activ al acestora este din ce în ce mai mare (fig. 5.43, *c*).

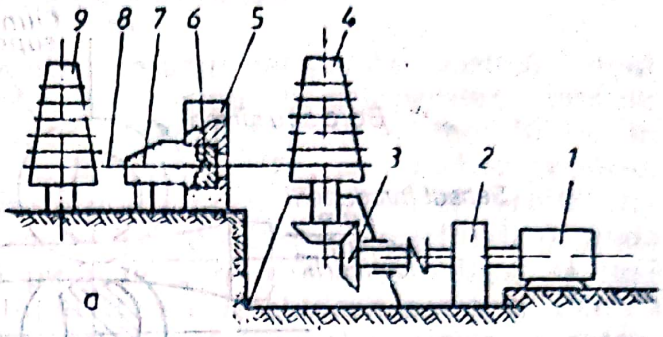
Capătul barelor și sîrmelor trebuie să fie ascuțit (subțiat) în prealabil pentru a putea fi trecut prin filieră și apucat de fălcile dispozitivului de prindere. *Mașinile de ascuțit* au doi cilindri cu profil periodic (fg. 5.44). Capătul semifabricatului se introduce între cilindri în momentul cînd calibrul este maxim, după care va avea loc ascuțirea prin laminare în sens opus introducerii. Operația se repetă pînă cînd lungimea părții subțiate va atinge valoarea necesară.

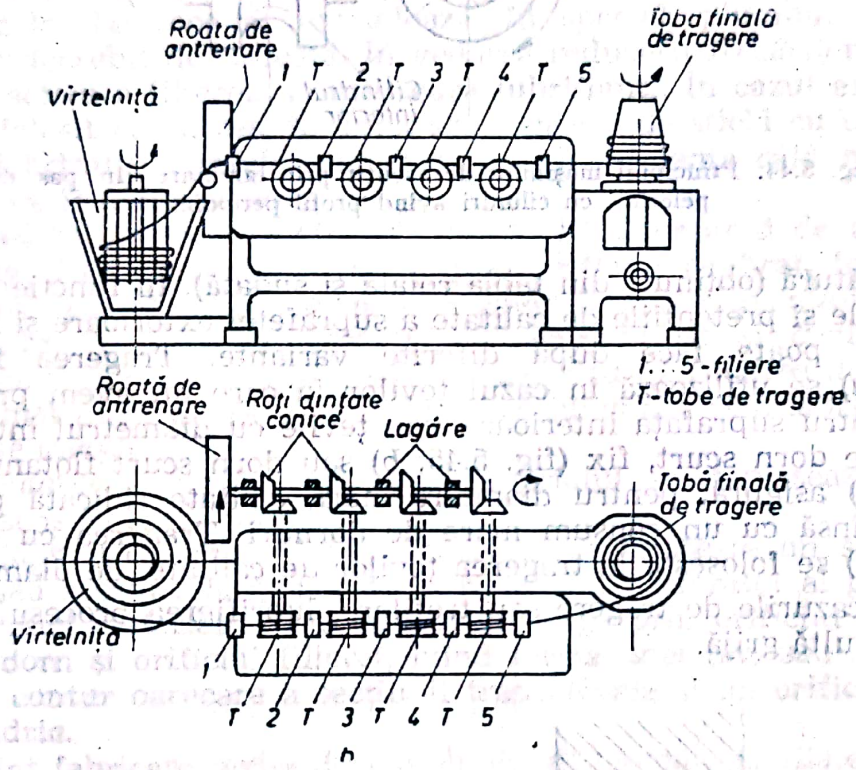
5.4.2. Tragerea țevilor

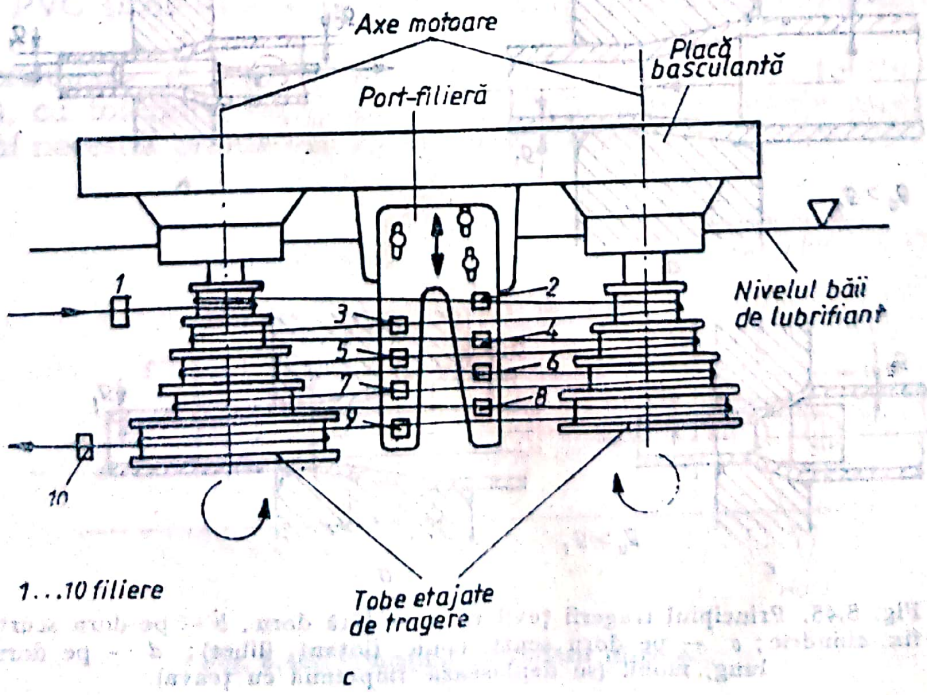
Dacă barele se trag numai în vederea reducerii secțiunii transversale, țevile se trag și pentru modificarea grosimii pereților. Prin tragere se pot prelucra atît țevile fără cusătură (obținute prin laminare), cît și

Scanned with OKEN Scanner

Fig. 5.43. Schemele unor mașini de trefilat: *a* — mașină cu o singură trecere; *1* — motor; *2* — reductor; *3* — pereche de roți dințate conice; *4* — tobă de tragere; *5* — port filieră; *6* — filieră; *7* — cutie cu pulbere de lubrifiant; *8* — sîrma ce se desfășoară din colac; *9* — vîrtelniță; *b* — mașină de trefilat multiplă cu antrenare comună prin roți dințate conice; *c* — mașină multiplă de trefilat în emulsie, cu două tobe în trepte.







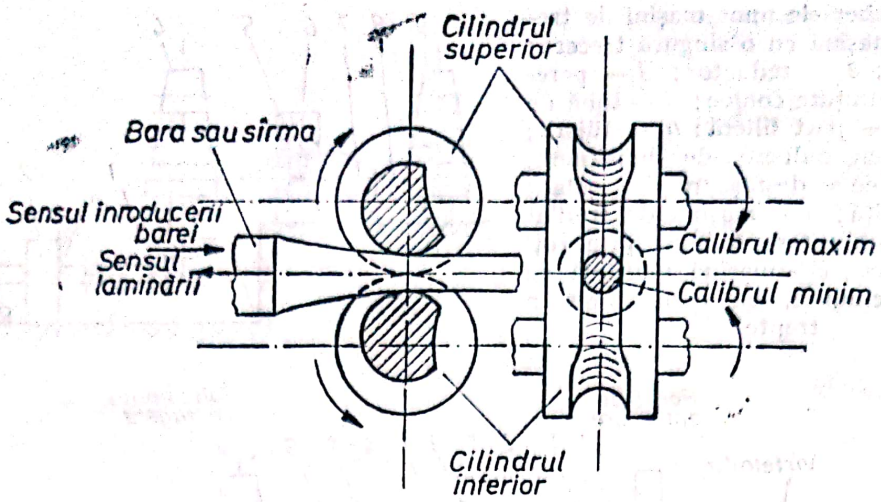


Fig. 5.44. Principiul mașinilor de ascuțit prin laminare (în pas de pelerin), cu cilindri avînd profil periodic.

cele cu cusătură (obținute din tablă rolată și sudată). În funcție de dimensiunile finale și pretențiile de calitate a suprafeței exterioare și interioare, tragerea se poate face după diferite variante. Tragerea fără dorn (fig. 5.45, *a*) se utilizează în cazul țevilor la care nu avem pretenții de calitate pentru suprafața interioară, sau țevile cu diametrul interior mic. Tragerea pe dorn scurt, fix (fig. 5.45, *b*) sau dorn scurt flotant (liber — fig. 5.45, *c*) asigură, pentru diametre mari, calitate ridicată pe ambele suprafețe, însă cu un consum mare de dornuri. Tragerea cu dorn lung (fig. 5.45, *d*) se folosește la tragerea țevilor de calitate, de diametre mici.

În toate cazurile de tragere sau trefilare, lubrifierea procesului trebuie făcută cu multă grijă.

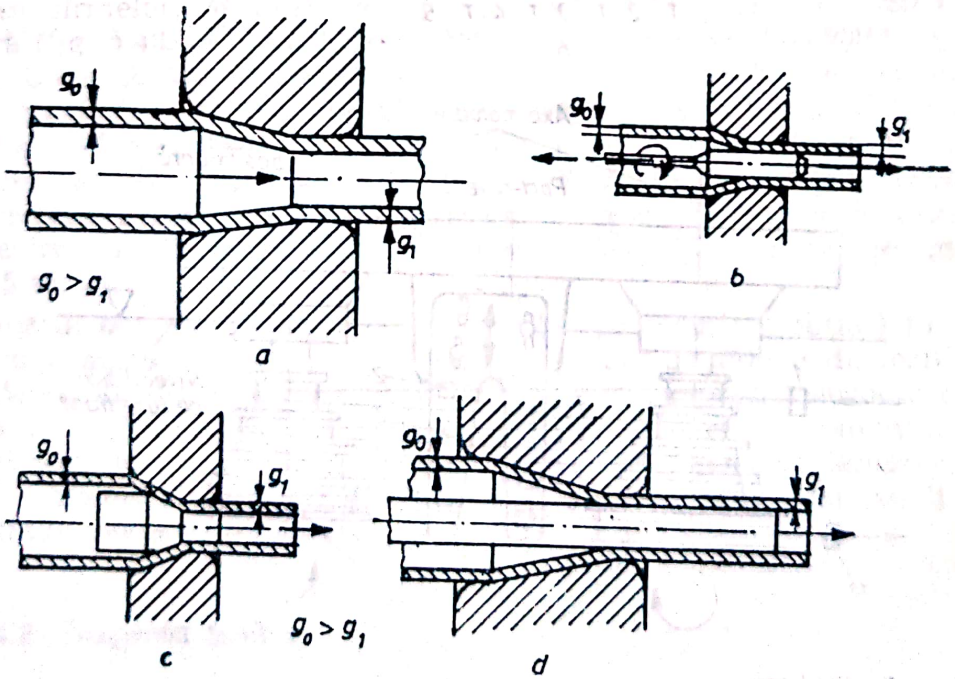


Fig. 5.45. Principiul tragerii țevilor: *a* — fără dorn; *b* — pe dorn scurt, fix, cilindric; *c* — pe dorn scurt, conic, flotant (liber); *d* — pe dorn lung, mobil (se deplasează împreună cu țeava).

Scanned with OKEN Scanner

Extrudarea este procedeul de prelucrare prin deformare plastică a unui material metalic sau nemetalic care, fiind supus la compresiune într-un spațiu închis, este silit să treacă prin orificiul profilat al unei filiere, în scopul obținerii barelor și țevilor cu diferite profile, sau a altor produse.

Principiul extrudării directe este reprezentat în figura 5.46. Semifabricatul, de obicei cilindric, este introdus într-un container (cilindru), unde prin înaintarea poansonului este puternic comprimat și obligat să iasă prin orificiul calibrat al filierei, luînd forma deschiderii acesteia. Pentru a reduce forța F foarte mare, majoritatea metalelor și aliajelor se extrudează la cald. La rece se extrudează, în special, plumbul care are o plasticitate deosebit de ridicată. În vederea reducerii frecărilor și a uzurii suprafeței active a filierei, se utilizează lubrifianți. În cazul extrudării la cald, este folosit cu succes, în acest scop, praful de sticlă cu care se acoperă semifabricatul incandescent și care, sub influența căldurii și a presiunii, ajunge în stare lichidă.

La extrudarea inversă (indirectă), filiera fiind împinsă de un poanson tubular (fig. 5.47), materialul curge, prin orificiul calibrat, în sens contrar mișcării poansonului. La această metodă apare avantajul că forța de extrudare, în lipsa frecării dintre semifabricat și container, este mult mai mică și rămîne constantă, în raport cu extrudarea directă, unde forța este mai mare și scade pe măsură ce lungimea semifabricatului din container se micșorează.

La extrudarea combinată (mixtă) materialul se deplasează simultan în ambele sensuri (fig. 5.48, *c*).

Pentru fabricarea țevilor prin extrudare se folosește un semifabricat pregăurit sau acesta este găurit de către dornul perforator al poansonului (fig. 5.49). Aici materialul este obligat să curgă prin orificiul inelar, format între dorn și orificiul filierei, luînd forma unei țevi sau a unui produs cu un contur oarecare a secțiunii transversale și un orificiu cilindric sau necilindric.

Astfel sînt fabricate țevile de plumb, de alte metale și aliaje neferoase, țevile de PVC și de alte mase plastice și în industria alimentară macaroanele.

Prin extrudare se pot obține profile complicate și foarte variate (fig. 5.50), cu toleranțe restrînse și suprafețe foarte netede care, de obicei nu mai necesită prelucrări mecanice ulterioare.

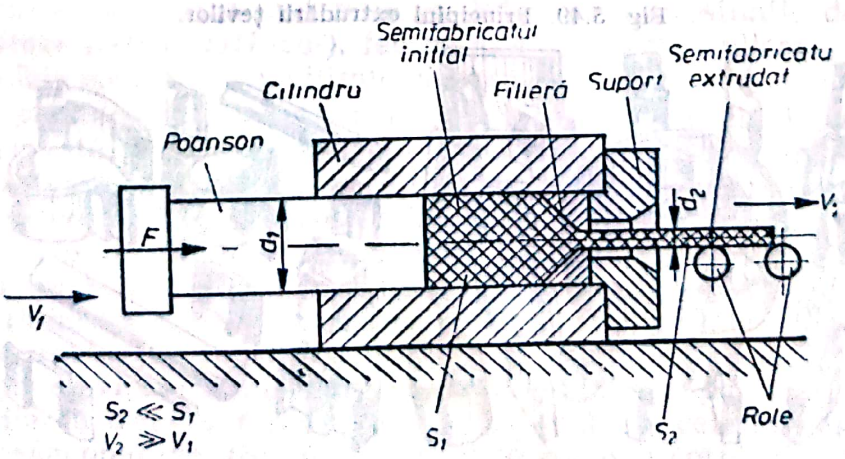


Fig. 5.46. Principiul extrudării directe.

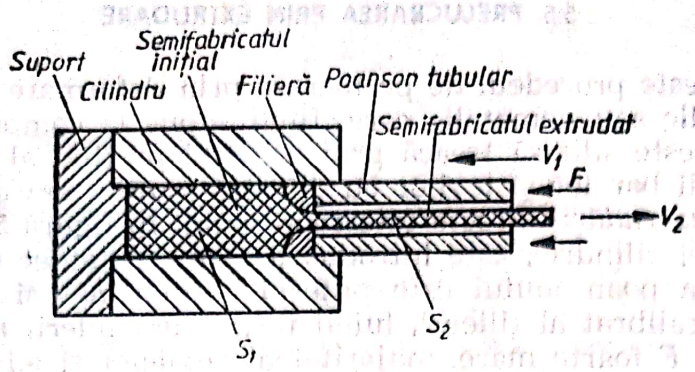


Fig. 5.47. Principiul extrudării inverse.

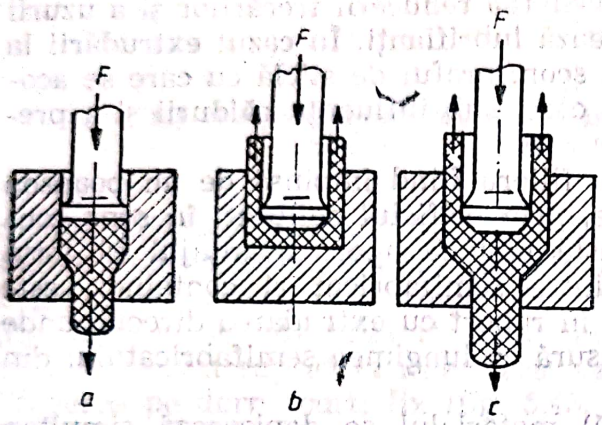


Fig. 5.48. Diferite variante ale extrudării: *a* — extrudare directă; *b* — extrudare indirectă și prin impact; *c* — extrudare combinată (mixtă).

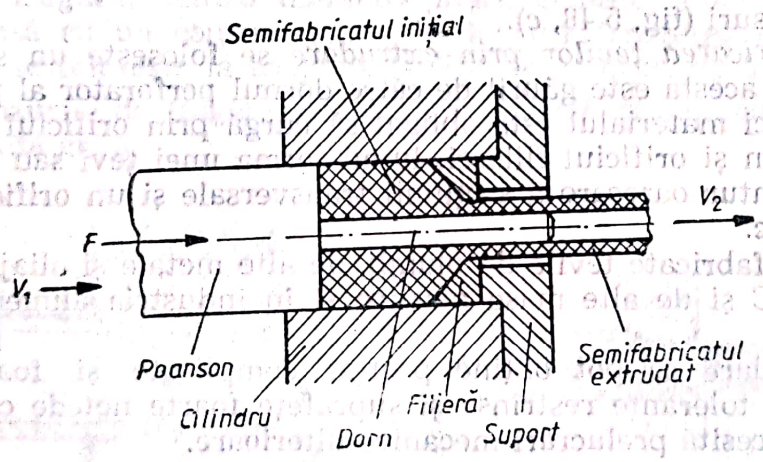


Fig. 5.49. Principiul extrudării țevilor.

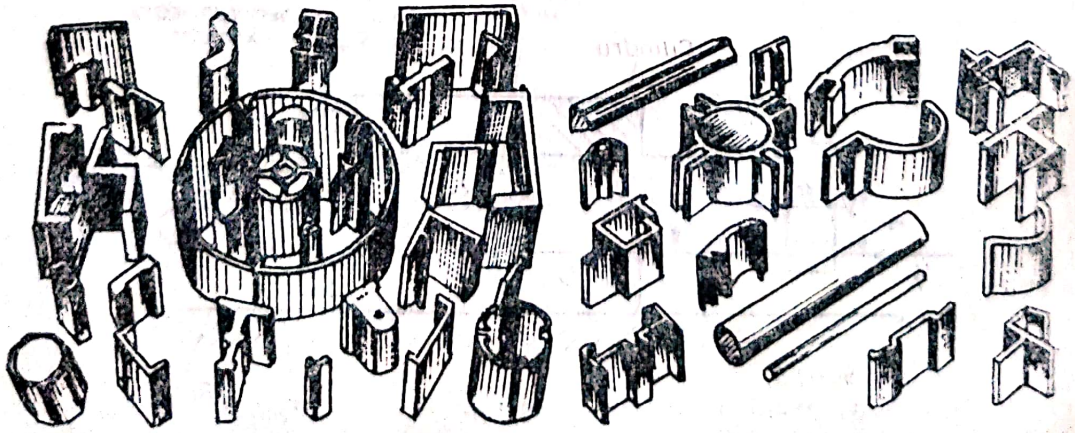


Fig. 5.50. Diferite profile pline sau cu goluri longitudinale, obținute prin extrudare.

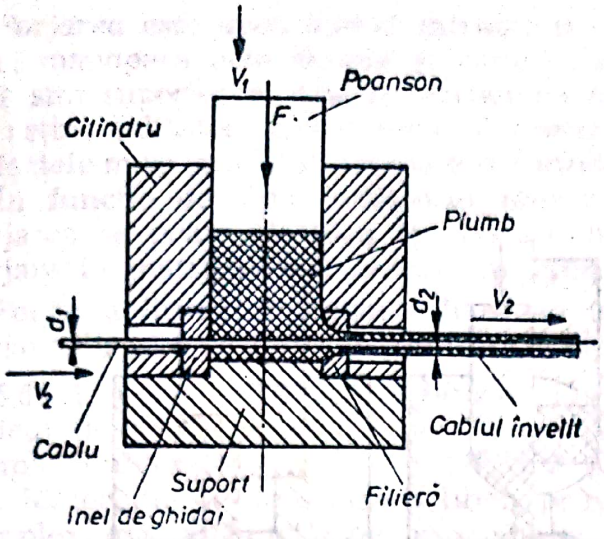


Fig. 5.51. Principiul realizării prin extrudare a mantalei de plumb la cablurile electrice.

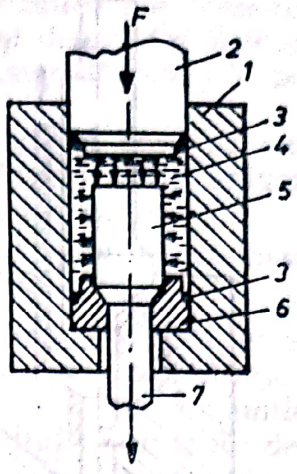


Fig. 5.52. Principiul extrudării hidrostatice: *1* — container; *2* — poanson; *3* — inel de etanșare; *4* — mediul fluid de presare; *5* — semifabricatul inițial; *6* — filieră; *7* — produsul extrudat.

Îmbrăcarea cablurilor electrice în manta de plumb prin extrudare. Unele cabluri electrice izolate, lucrînd în condiții severe de coroziune sau solicitări mecanice, se protejează printr-o manta metalică, de obicei din plumb, realizată prin extrudare (fig. 5.51). Este important ca viteza de înaintare v_1 a poansonului să fie perfect corelată cu viteza de înaintare v_2 a cablului, pentru a asigura egalitatea vitezei de ieșire a învelișului cu cea a cablului. Pe același principiu se realizează aplicarea învelișului la fabricarea electrozilor de sudură și aplicarea izolației din diferite mase plastice la fabricarea sîrmelor și cablurilor pentru industria electrotehnică.

Extrudarea hidrostatică (fig. 5.52) asigură trecerea forțată a semifabricatului prin filieră sub acțiunea unui fluid sub presiune, cuprins între container și semifabricat. Aici forța necesară este mai mică ca urmare a lipsei frecării dintre semifabricat și container și a lubrifierii mai bune. Semifabricatul fiind supus unor forțe de compresiune după toate direcțiile, materialul se comportă mai bine la deformare. Presiunile de lucru foarte mari (peste 15.000 daN/cm²), fac ca metoda să fie aplicată, în special, la materialele cu o deformabilitate ridicată.

Extrudarea prin impact, care a fost mai recent introdusă în practica industrială, servește la fabricarea unor produse cave, de lungime mică, figura 5.48, *b* (vase și cutii cu pereți subțiri, tuburi pentru industria farmaceutică și cosmetică, inclusiv tuburile din aluminiu pentru spraiuri etc.) sau a unor produse deschise la ambele capete (fig. 5.53, *a*) prin procedeu mixt: capul prin extrudare directă și corpul prin extrudare inversă (tuburile pentru paste de dinți și alte produse sub formă de cremă). Tot așa se pot fabrica și produse cu secțiune variabilă, crescătoare, cum sînt supapele motoarelor cu ardere internă, paletele de turbină, șuruburile cu diferite forme ale capului, inclusiv cele cu cap cilindric și locaș hexagonal etc. (fig. 5.53, *b* și *c*), precum și corpurile metalice ale bujiilor auto. Extrudarea prin impact se realizează pe prese mecanice

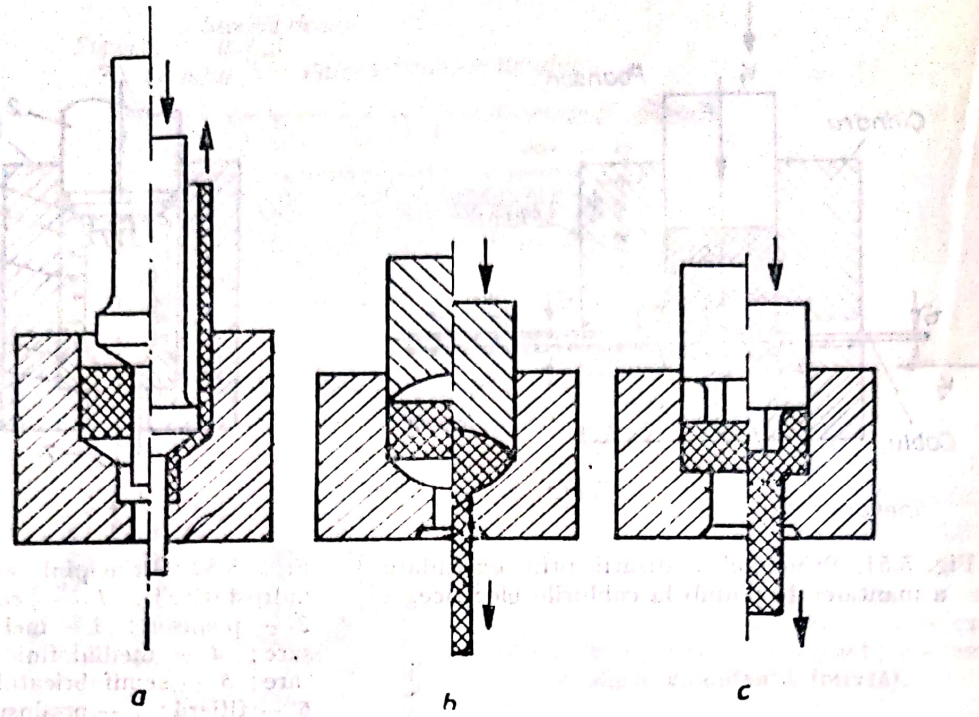


Fig. 5.53. Exemple de fabricare prin extrudare a unor produse cu profil variabil: *a* — tub pentru ambalarea pastelor; *b* — şurub cu cap bombat; *c* — şurub cu cap cilindric şi hexagon interior.

de mare viteză, care asigură obținerea unor productivități deosebit de mari.

Produsele fabricate prin extrudare sînt foarte frecvent folosite, atît în industria constructoare de mașini, a aparatelor electrotehnice și electronice, cît și în industria bunurilor de larg consum. Extrudarea se aplică, de obicei, la producția de serie mare și de masă.

5.6. PRELUCRAREA PRIN FORJARE ȘI MATRIȚARE

5.6.1. Forjarea — considerații generale

Forjarea este procedeul de prelucrare prin deformare plastică la cald sau la rece cu ajutorul unor forțe exterioare statice sau dinamice, exercitate manual sau mecanic (cu ajutorul unor prese sau ciocane).

Prin forjare pot fi executate piese de la cele mai mici, pînă la cele mai mari (cu greutate de sute de tone).

Operația de forjare trebuie să se execute fără fisurarea semifabricatului și cu forțe exterioare cît mai reduse. Pentru asigurarea unei plasticități corespunzătoare, semifabricatul este prelucrat, de obicei, la cald, încălzirea realizîndu-se cu ajutorul cuptoarelor cu combustibil solid, lichid sau gazos, precum și cu ajutorul instalațiilor electrice de încălzire prin rezistență sau prin inducție.

Ca material inițial pentru forjarea semifabricatelor grele, se folosesc lingourile turnate, iar la executarea pieselor mijlocii și mici, se folosesc profilele laminate de diferite dimensiuni, debitate (tăiate) la lungimile necesare.

Scanned with OKEN Scanner

Forjarea este avantajoasă întrucît timpul și costul prelucrării este redus, manopera este simplă și caracteristicile mecanice ale pieselor forjate sînt superioare, datorită structurii omogene și dense. *Ca dezavantaje* se reține: calitatea suprafețelor și precizia dimensională scăzută, precum și forțele mari care sînt necesare deformării.

În funcție de tipul utilajului folosit și a operației care se execută, forjarea se poate clasifica în: forjare liberă (folosind scule universale); forjare în matrițe (matrițarea); forjarea pe mașini speciale.

Forjarea liberă se împarte în două categorii: forjare liberă manuală; forjare liberă mecanică (cu ajutorul mașinilor de forjat).

5.6.1.1. **Forjarea liberă manuală.** Forjarea liberă manuală este procedeul de prelucrare prin deformare plastică la care se folosesc scule simple, universale care nu determină direct forma și dimensiunile piesei. Materialul se deformează liber, prin intermediul unor scule de mică complexitate, în funcție de: intensitatea loviturii care i se aplică; poziția sa față de direcția efortului; îndemînarea muncitorului care execută operația. Sculele se acționează manual.

După felul cum intervin în procesul de forjare manuală, sculele se împart în două categorii (fig. 5.54) și anume:

— scule de bază, care cuprind: nicovale, ciocane, baroase, dălți, dornuri, gîtuitoare, rotunjitoare etc.;

— scule ajutătoare (de manevrare, sprijin și de fixare) în care se includ: clești, menghini de forjă etc.

Prin forjare manuală se execută, de obicei, piese mărunte pentru lăcătușerie, pentru uz casnic, agricol sau artizanat în cadrul lucrărilor de reparații sau pe șantiere mobile etc.

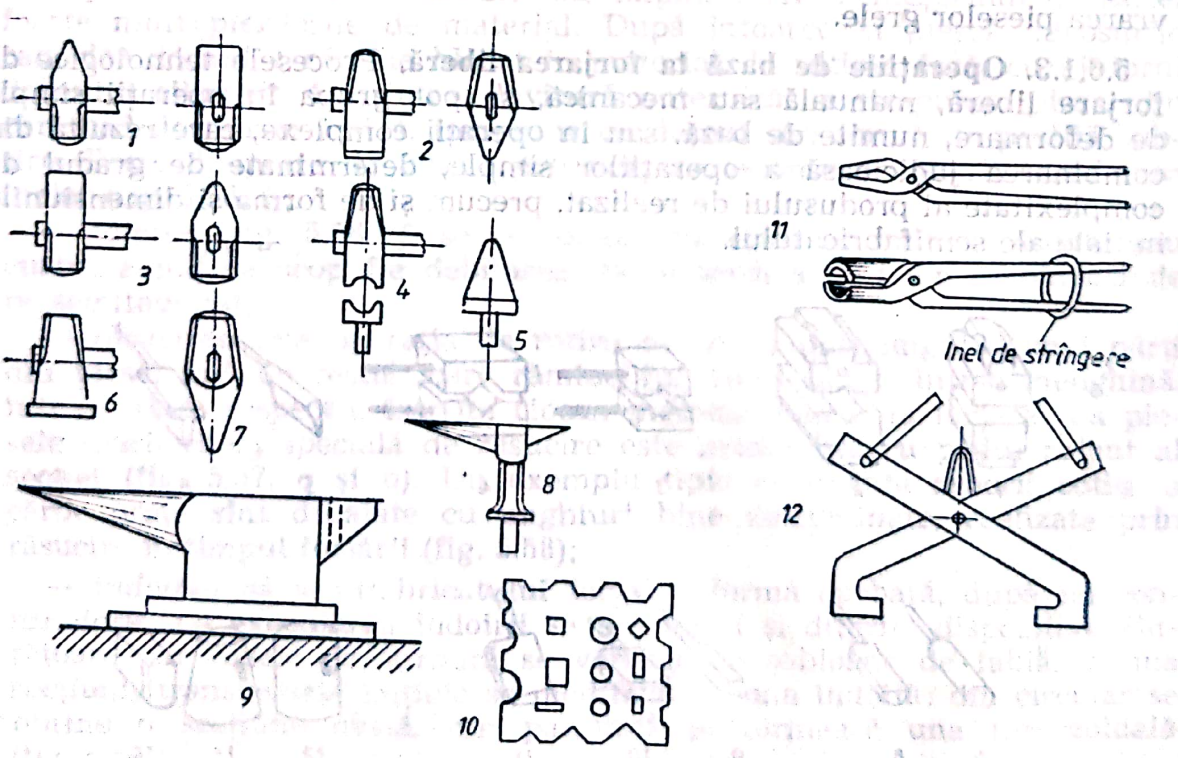


Fig. 5.54. Scule și dispozitive pentru forjarea liberă manuală: *1 ... 3* — ciocane; *4* — matriță de rotunjit; *5* — gîtuitoare; *6* — ciocan planator; *7* — dorn cu mîner; *8* — nicovală mică ce se fixează în gaura nicovalei mari; *9* — nicovală; *10* — bloc profilat; *11* — clește de mînă; *12* — clește de macara.

Operațiile de bază la forjarea liberă manuală sînt aceleași ca și cele de la forjarea liberă mecanică.

5.6.1.2. **Forjarea liberă mecanică.** Pentru prelucrarea prin deformare a pieselor mari, de greutate mare, cu secțiuni greu sau imposibil de deformat cu ajutorul sculelor de mînă, se folosește procedeul forjării libere mecanice. Aici lucrul mecanic de deformare este realizat de utilaje și instalații mecanice. Acest procedeu este indicat la executarea operațiilor de forjare a pieselor individuale sau în serie mică și se caracterizează prin executarea deformării între berbecul și nicovala ciocanului sau presei, fără intermediul unor scule speciale de complexitate mare, prin precizia relativ scăzută a produselor, prin consumul destul de mare de materiale.

La forjarea liberă mecanică se folosesc *scule și dispozitive ajutătoare universale*, uneori se prevăd scule și dispozitive simple pentru anumite piese (fig. 5.55); *nicovalele* servesc la sprijinirea materialului metalic în timpul deformării acestuia prin lovire. Ele se execută din OL 500 sau OL 600 forjat și îmbunătățit, de forme diferite (fig. 5.55, *1, 2*) după tipul operației, la care sînt folosite; *matrițele pentru rotunjit* (fig. 5.55, *3, 4*) servesc la finisarea barelor forjate de diferite secțiuni; *gîtuitoarele* (fig. 5.55, *5, 6*) servesc la executarea diferitelor gîtuiri sub ciocanul mecanic; *gîtuitoarele de crestat* (fig. 5.55, *7, 8*) servesc la delimitarea porțiunii care trebuie întinsă la o piesă oarecare; *planatoarele* (fig. 5.55, *9, 10, 11*) servesc la netezirea și îndreptarea suprafețelor unde nu poate pătrunde nicovala; *dornurile* (fig. 5.55, *12, 13, 14*) se folosesc la perforare, la netezirea găurilor după perforare sau la întinderea lor; *cleștii de mînă* (fig. 5.54, *11*) servesc la prinderea și mînuirea pieselor calde în timpul operațiilor de forjare, iar *cleștele de macara* este folosit la manevrarea pieselor grele.

5.6.1.3. **Operațiile de bază la forjarea liberă.** Procesele tehnologice de forjare liberă, manuală sau mecanică, se pot grupa în operații simple de deformare, numite de bază, sau în operații complexe, care rezultă din combinarea judicioasă a operațiilor simple, determinate de gradul de complexitate al produsului de realizat, precum și de forma și dimensiunile inițiale ale semifabricatului.

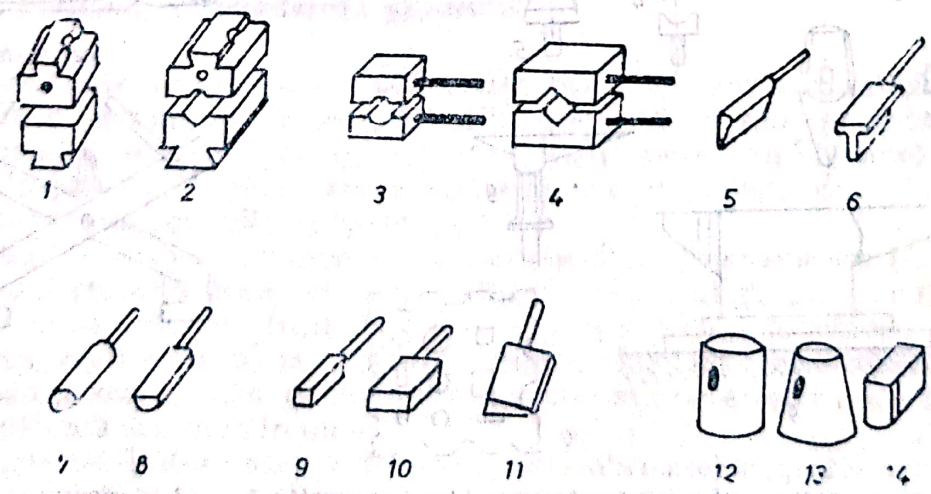


Fig. 5.55. Scule întrebuințate în forjarea liberă mecanică: *1, 2* — nicovale; *3, 4* — matrițe pentru finisare; *5, 6* — dălți; *7, 8* — gîtuitoare; *9, 10* — întinzătoare; *11* — daltă de tăiat; *12 ... 14* — dornuri.

Scanned with OKEN Scanner

Dintre *operațiile simple de forjare,* mai importante, se menționează:

— *refularea* (fig. 5.56, *a*) prin care se micșorează înălțimea semifabricatului și crește secțiunea transversală (pe toată înălțimea sau numai într-o anumită zonă la o încălzire neuniformă);

— *întinderea* (lungirea — fig. 5.56, *b* și *c*) prin care se micșorează grosimea și *crește lungimea* semifabricatului mult mai accentuat, decît lățimea acestuia (exploatînd legea rezistenței minime). Dacă semifabricatul se rotește după fiecare lovitură cu 90°, se asigură o prelucrare mai uniformă a materialului. La întinderea barelor rotunde se recomandă folosirea nicovalelor și sculelor scobite (fig. 5.56, *c*, *2* și *3*), între care bara se rotește cu 20 . . . 30° după fiecare lovitură, primind, bine înțeles, și o mișcare de avans longitudinal. Întinderea cea mai bună se poate realiza însă pe *mașinile de forjat rotative* (ciocane rotative) cu 2 sau 4 fălci de lovire (fig. 5.56, *c*, *4* și fig. 5.72), unde nu bara se rotește ci fălcile, dînd lovituri succesive din toate direcțiile;

— *lățirea* (fig. 5.56, *d*), unde tot prin micșorarea grosimii, deformarea principală este de *lățire* și nu de lungire;

— *întinderea* (lungirea) *pe dorn* (fig. 5.56, *e*) se aplică pieselor cu secțiune inelară, în scopul măririi lungimii lor;

— *lățire pe dorn* (fig. 5.56, *f*), aplicată tot semifabricatelor cu secțiune inelară, realizează mărirea diametrelor, fiind necesar și un avans circular pentru deformarea uniformă a piesei în toate părțile acesteia;

— *găurirea simplă* (fig. 5.56, *g*) se face cu dorn plin, dar astfel se pierde o cantitate mare de material sub formă de deșeu. Mai rațional este găurirea cu un dorn conic *1* (fig. 5.56, *h*) care se introduce în material prin lovituri (împungere), folosindu-se adaosurile prelungitoare *2* și *3*, prin care metalul dislocuit este împins lateral, micșorîndu-se astfel foarte mult pierderile de material. După întoarcerea piesei, adaosurile cad, dar dornul *1* rămîne blocat în material. În ultima fază, cu ajutorul dornului cilindric *4*, printr-o lovitură puternică se străpunge piesa, din care cad dornurile *1* și *4*, împreună cu deșeul sub formă de pastilă subțire. Peste diametre de 300 . . . 400 mm, se recomandă găurirea cu dorn inelar (fig. 5.56, *i*);

— *tăierea* (fig. 5.56, *j*) se realizează cu ajutorul dălților drepte sau curbe, avînd ca scop fie debitarea, fie îndepărtarea unor surplusuri de pe semifabricat;

— *răsucirea* este operația de rotire cu un anumit unghi a unei părți din piesă, față de restul, care rămîne fix, fiind blocat într-o menghină, într-o presă, respectiv într-un ciocan mecanic folosit la forjare. La piesele mari, cheia specială de răsucire este manevrată cu podul rulant al secției (fig. 5.57, *a* și *b*). Un exemplu tipic reprezintă arborii cotiți, a căror brațe sînt decalate cu unghiuri bine determinate, realizate prin răsucire în timpul forjării (fig. 5.58);

— *îndoirea* dă semifabricatului forjat o formă curbată, după un contur dorit. La executarea îndoirii se pot folosi și diferite dispozitive ajutătoare, iar razele de curbură se verifică cu șabloane de tablă. Forma secțiunii transversale inițiale se modifică în zona îndoită: din circular se obține o secțiune ovală, din patratică se formează una trapezoidală (fig. 5.59);

— *sudarea prin forjare* face posibilă unirea nedemontabilă a două părți de piesă, sau capetele unei bare îndoite în formă de cerc la fabricarea inelelor sau bandajelor de roți.

Scanned with OKEN Scanner

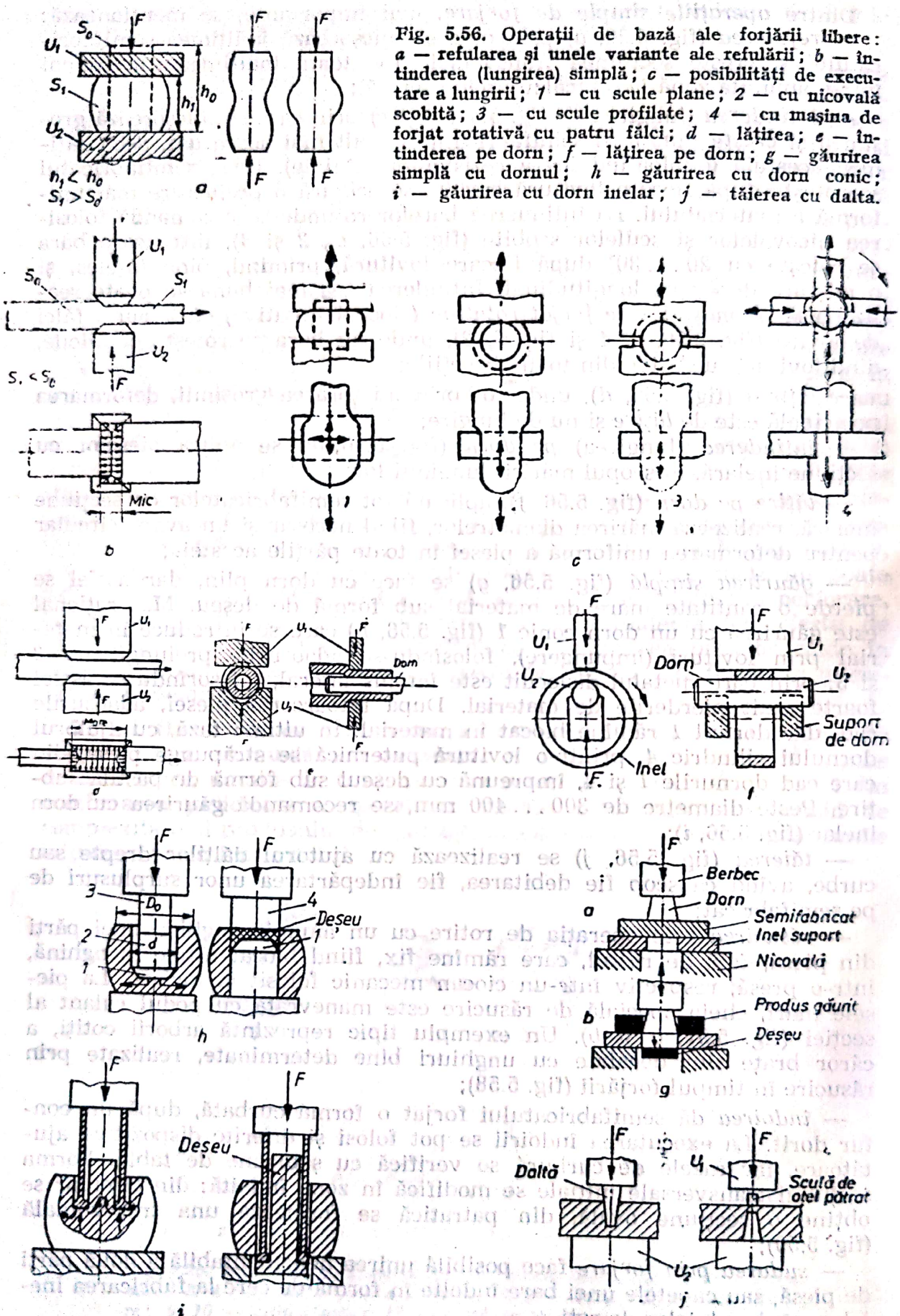


Fig. 5.56. Operații de bază ale forjării libere: *a* — refularea și unele variante ale refulării; *b* — întinderea (lungirea) simplă; *c* — posibilități de executare a lungirii; *1* — cu scule plane; *2* — cu nicovală scobită; *3* — cu scule profilate; *4* — cu mașina de forjat rotativă cu patru fălci; *d* — lățirea; *e* — întinderea pe dorn; *f* — lățirea pe dorn; *g* — găurirea simplă cu dornul; *h* — găurirea cu dorn conic; *i* — găurirea cu dorn inelar; *j* — tăierea cu dalta.

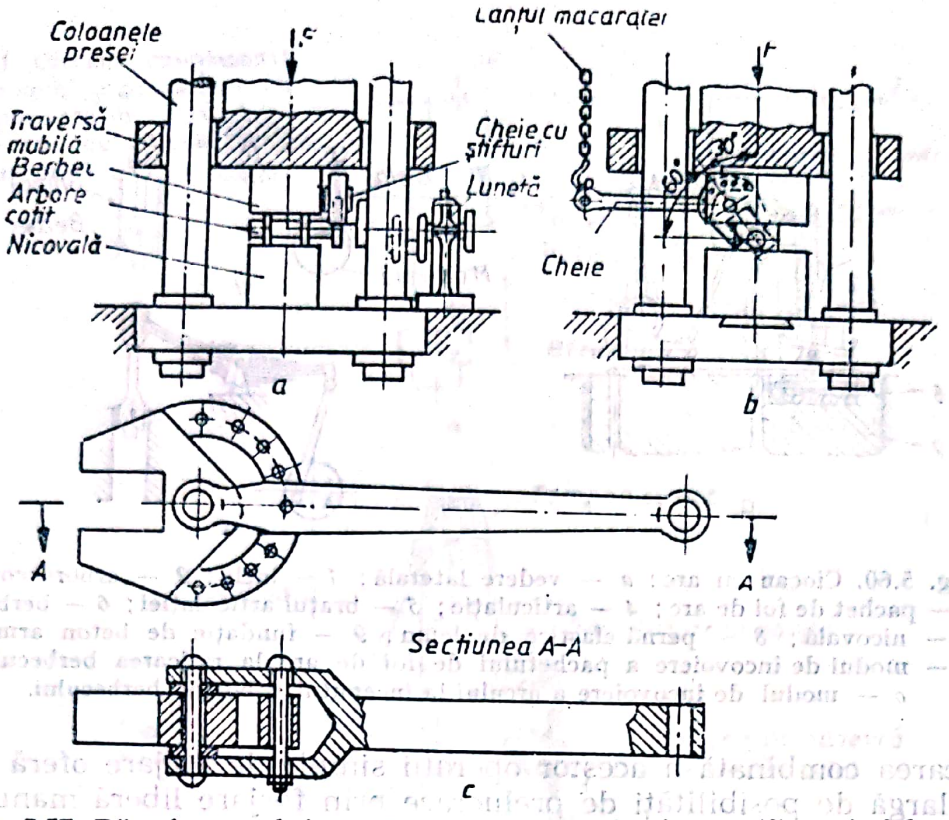


Fig. 5.57. Răsucirea cu cheie pentru macara a unui arbore cotit cu trei brațe, fixat într-o presă hidraulică; *a* — vedere frontală; *b* — vedere laterală; *c* — cheia specială cu știfturi, pentru răsucire cu macaraua.

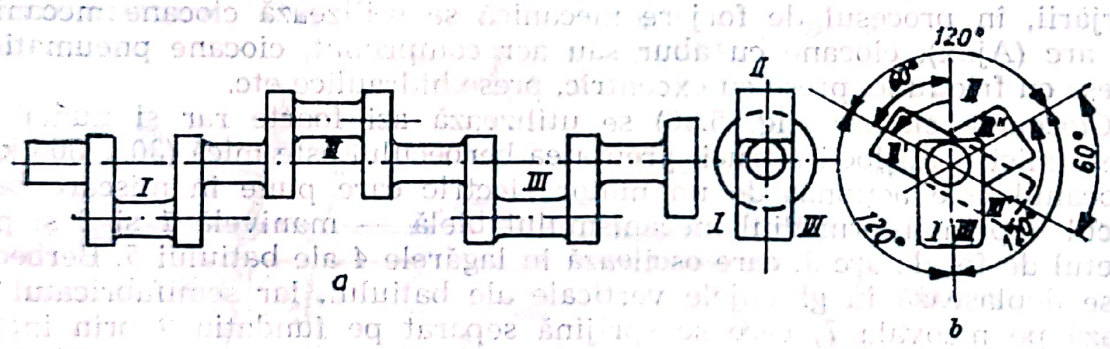


Fig. 5.58. Arbore cotit cu trei coturi, cu brațele forjate inițial în același plan (*a*) și apoi răsucite cu câte 60°(*b*).

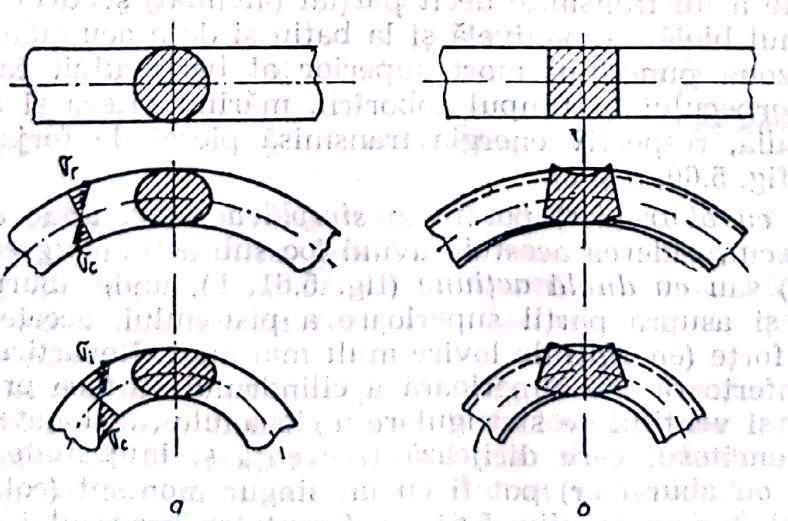


Fig. 5.59. Îndoirea și efectele îndoirii asupra formei secțiunii transversale: *a* — secțiunea inițială rotundă devine ovală; *b* — secțiunea inițială pătrată devine trapezoidală.

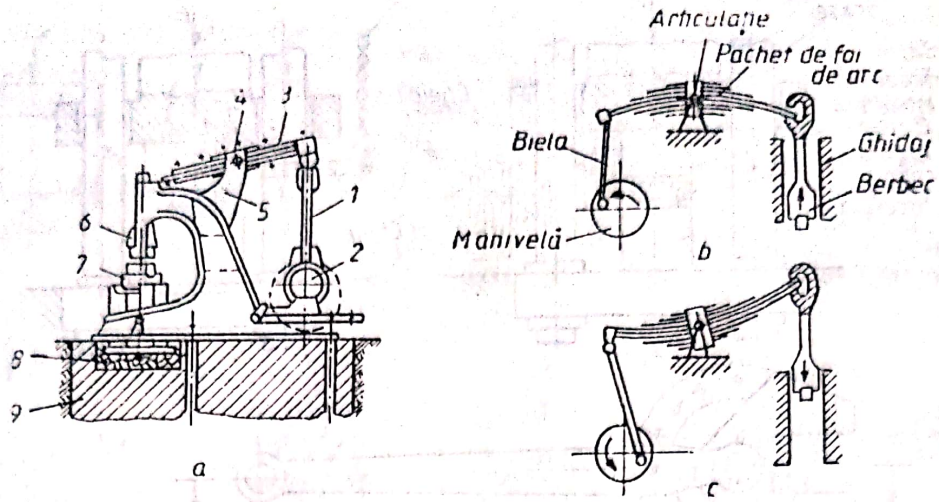


Fig. 5.60. Ciocan cu arc: *a* — vedere laterală; *1* — bielă; *2* — arbore cotit; *3* — pachet de foi de arc; *4* — articulație; *5* — brațul articulației; *6* — berbec; *7* — nicovală; *8* — pernă elastică de lemn; *9* — fundație de beton armat; *b* — modul de încovoiere a pachetului de foi de arc la ridicarea berbecului; *c* — modul de încovoiere a arcului la începutul coborîrii berbecului.

Aplicarea combinată a acestor operații simple de forjare oferă o gamă și mai largă de posibilități de prelucrare prin forjare liberă manuală sau mecanică.

5.6.1.4. **Utilajele folosite la forjare.** În funcție de masa piselor supuse forjării, în procesul de forjare mecanică se utilizează ciocane mecanice cu arc (Ajax), ciocane cu abur sau aer comprimat, ciocane pneumatice, prese cu fricțiune, prese cu excentric, prese hidraulice etc.

Ciocanele cu arc (fig. 5.60) se utilizează azi foarte rar și numai la piese mici și mijlocii întrucît greutatea berbecului este mică (30...300 kg). Ciocanul este acționat de un motor electric care pune în mișcare berbecul *6* prin intermediul mecanismului bielă — manivelă *1* și *2* și pachetul de foi de arc *3*, care oscilează în lagărele *4* ale batiului *5*. Berbecul *6* se deplasează în ghidajele verticale ale batiului, iar semifabricatul se așază pe nicovala *7*, care se sprijină separat pe fundația *9* prin intermediul tamponului *8* de lemn, pentru amortizarea, cel puțin parțială, a vibrațiilor produse de loviturile berbecului. Pachetul elastic de arc are dublul rol de a nu transmite decît parțial (atenuat) șocurile de la berbec la mecanismul bielă — manivelă și la batiu și de a acumula energie prin îndoire în zona punctului mort superior al berbecului, care va fi retransmisă berbecului în timpul coborîrii, mărind viteza și energia cinetică a acestuia, respectiv energia transmisă piesei de forjat în vederea deformării (fig. 5.60, *b* și *c*).

Ciocanele cu abur (aer) pot fi cu *simplă acțiune*, unde aburul ridică numai berbecul, căderea acestuia avînd loc sub acțiunea greutății proprii (fig. 5.61, *a*) sau cu *dublă acțiune* (fig. 5.61, *b*), unde aburul acționează la coborîre și asupra părții superioare a pistonului, accelerînd căderea și realizînd forțe (energii) de lovire mult mai mari. Repartizarea aburului în partea inferioară sau superioară a cilindrului se face prin sertărașul de comandă și ventilul de strangulare a ciocanului, acționate prin pîrghii de către muncitorul care dirijează frecvența și intensitatea loviturilor.

Ciocanele cu abur (aer) pot fi cu un singur montant (coloană) sau cu doi montanți, tip portal (fig. 5.61, *c*). Greutatea berbecului împreună cu

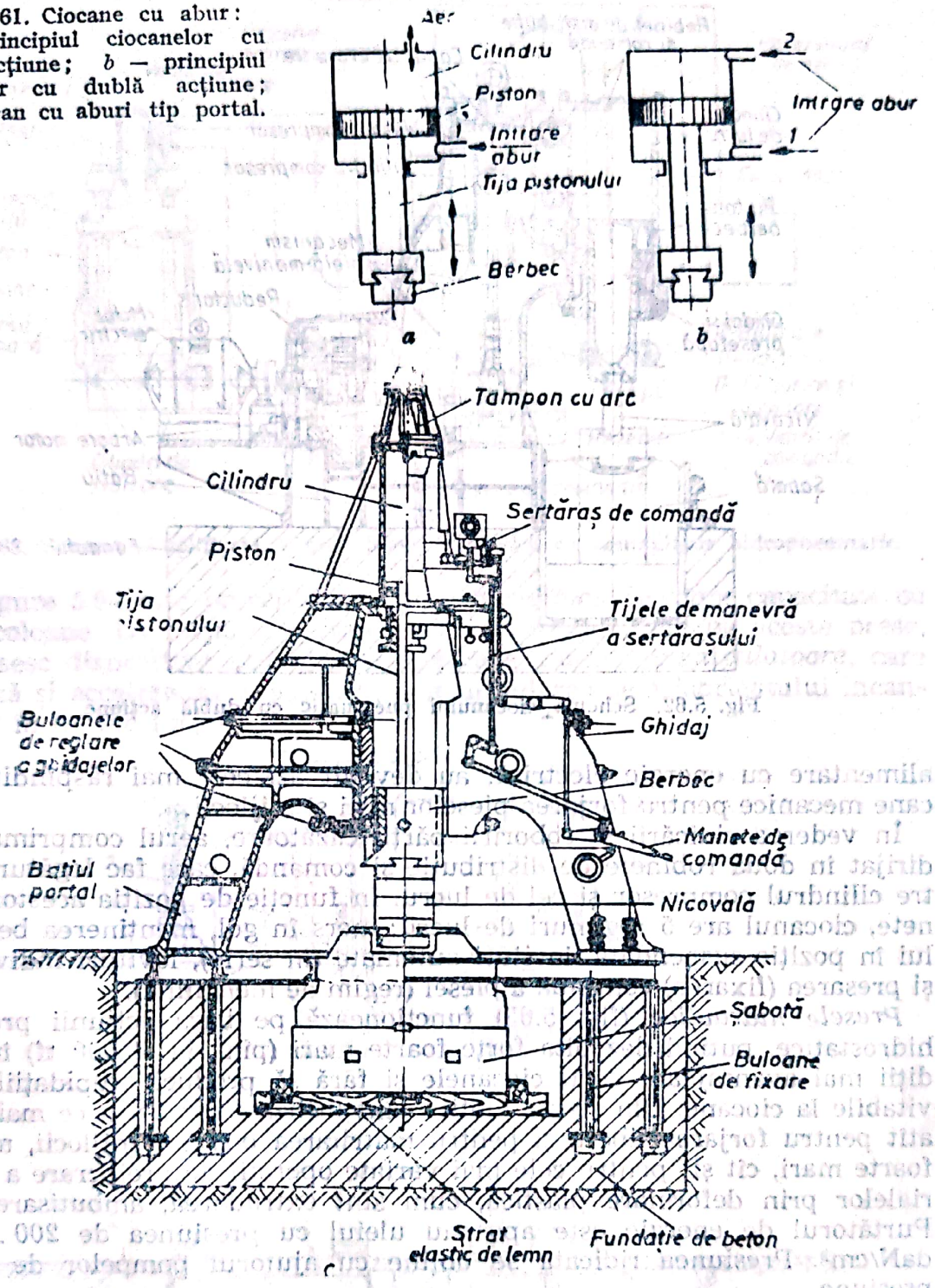


Fig. 5.61. Ciocane cu abur: *a* — principiul ciocanelor cu simplă acțiune; *b* — principiul ciocanelor cu dublă acțiune; *c* — ciocan cu aburi tip portal.

elementele de cădere poate varia între 0,1 . . . 15 tone. Din cauza consumului mare de abur și în urma faptului că este nevoie de o centrală termică ca sursă de abur, azi au rămas în funcțiune numai ciocanele cele mai mari de acest tip, pentru realizarea lucrărilor grele de forjare (a pieselor foarte mari).

Ciocanul pneumatic cu autocompresie (fig. 5.62) funcționează tot pe principiul dublei acțiuni. Numărul maxim de lovituri este funcție de turația arborelui cotit al compresorului. Masa părții căzătoare este de 75 . . . 1000 kg, iar presiunea aerului comprimat variază între 0,6 . . . 3 at. Aceste ciocane fiind unități independente (autonome), reclamînd numai

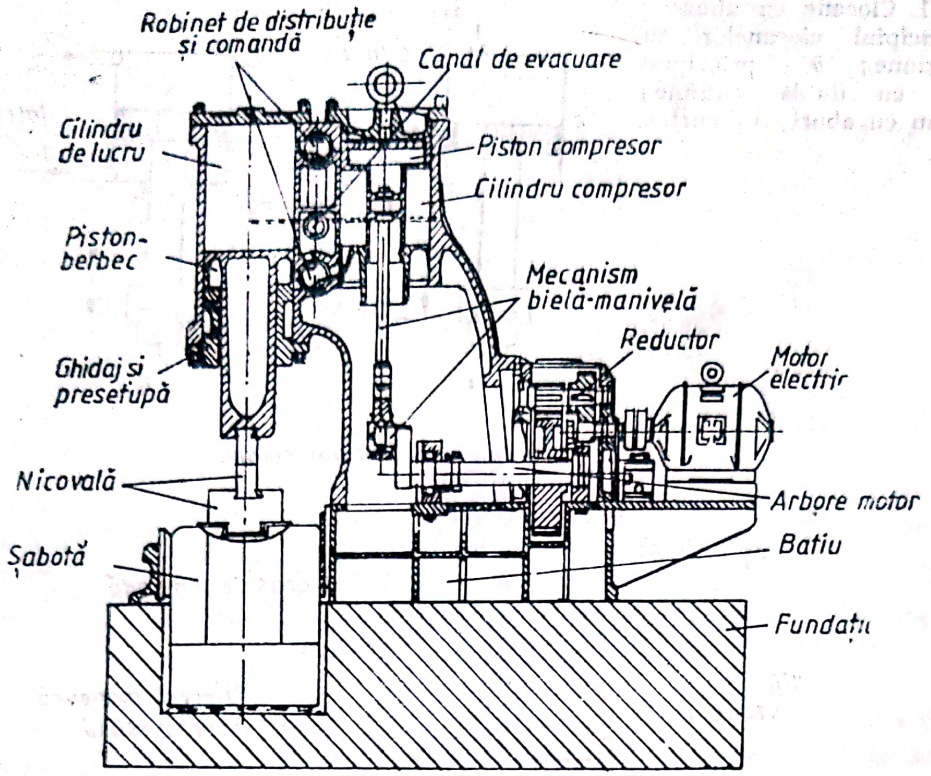


Fig. 5.62. Schema ciocanului pneumatic cu dublă acțiune.

alimentare cu energie electrică, au devenit azi cele mai răspîndite ciocane mecanice pentru forjarea pieselor mici și mijlocii.

În vederea ridicării și coborîrii părții căzătoare, aerul comprimat este dirijat în două robinete de distribuție și comandă, care fac legăturile între cilindrul compresor și cel de lucru. În funcție de poziția acestor robinete, ciocanul are 5 regimuri de lucru: mers în gol, menținerea berbecului în poziție suspendată, lovituri automate (în serie), lovituri individuale și presarea (fixarea) continuă a piesei (regim de menghină).

Presele hidraulice (fig. 5.63) funcționează pe baza acțiunii presiunii hidrostatice, putînd dezvolta forțe foarte mari (pînă la 50 000 tf) în condiții mai avantajoase decît ciocanele și fără să producă trepidațiile inevitabile la ciocane. Din aceste motive sînt utilizate din ce în ce mai mult, atît pentru forjarea liberă și pentru matrițarea pieselor mijlocii, mari și foarte mari, cît și pentru cele mai variate operații de prelucrare a materialelor prin deformare plastică, cum sînt extrudarea, ambutisarea etc. Purtătorul de energie este apa sau uleiul cu presiunea de 200 ... 400 daN/cm². Presiunea ridicată se obține cu ajutorul pompelor de înaltă presiune.

Lichidul din rezervor, fiind refulat de pompă, trece prin distribuitor în cilindrul de lucru, respectiv în cei doi cilindri de ridicare a traversei mobile. *Acumulatorul hidropneumatic* are rolul ca în pauzele funcționării presei să rețină o cantitate mai mare de lichid sub presiune înaltă și a-l retrimite spre presă la cursele de lucru. Astfel debitul pompei trebuie să fie egal numai cu consumul mediu de lichid al presei, realizîndu-se totuși curse de lucru (de apropiere) cu viteze apreciabile. Rolul rezervoarelor mari de aer este ca să facă să varieze cît mai puțin presiunea din sistem la umplerea cu lichid la maximum a acumulatorului hidropneumatic, față de situația cînd acesta este aproape gol.

Scanned with OKEN Scanner

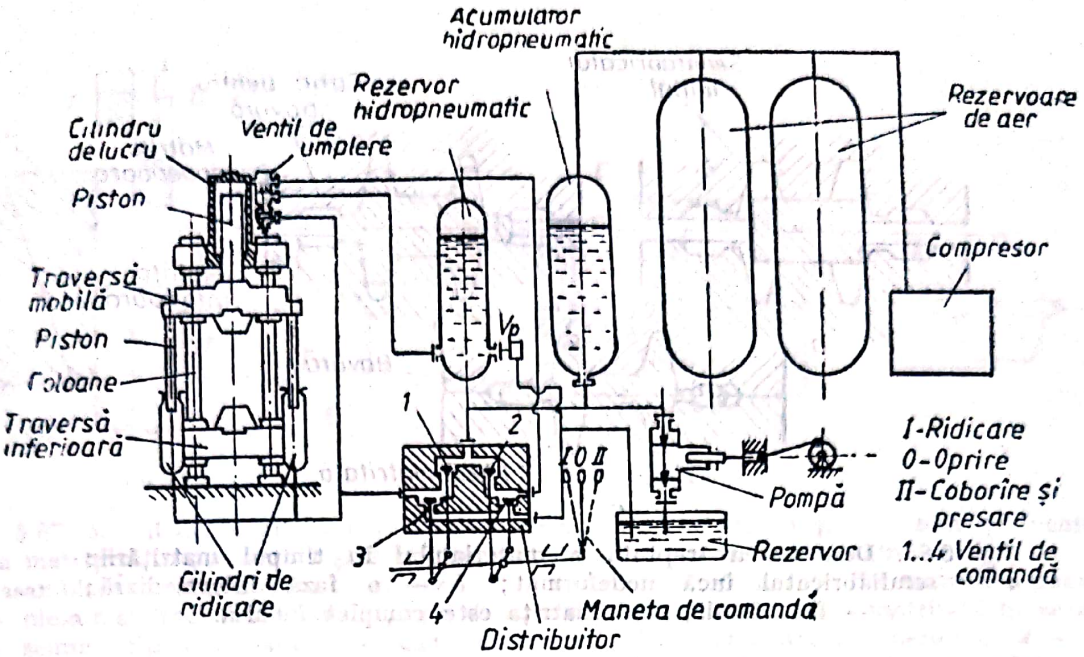


Fig. 5.63. Schema simplificată a unei prese hidraulice cu acumulator hidropneumatic.

În figura 5.64 este prezentată o presă hidraulică de mare capacitate cu patru coloane. La forjarea pieselor grele și foarte grele pe aceste prese, se folosesc dispozitive sau mașini auxiliare, numite *manipulatoare*, care ușurează și accelerează deplasarea și manipularea semifabricatului incandescent în timpul forjării.

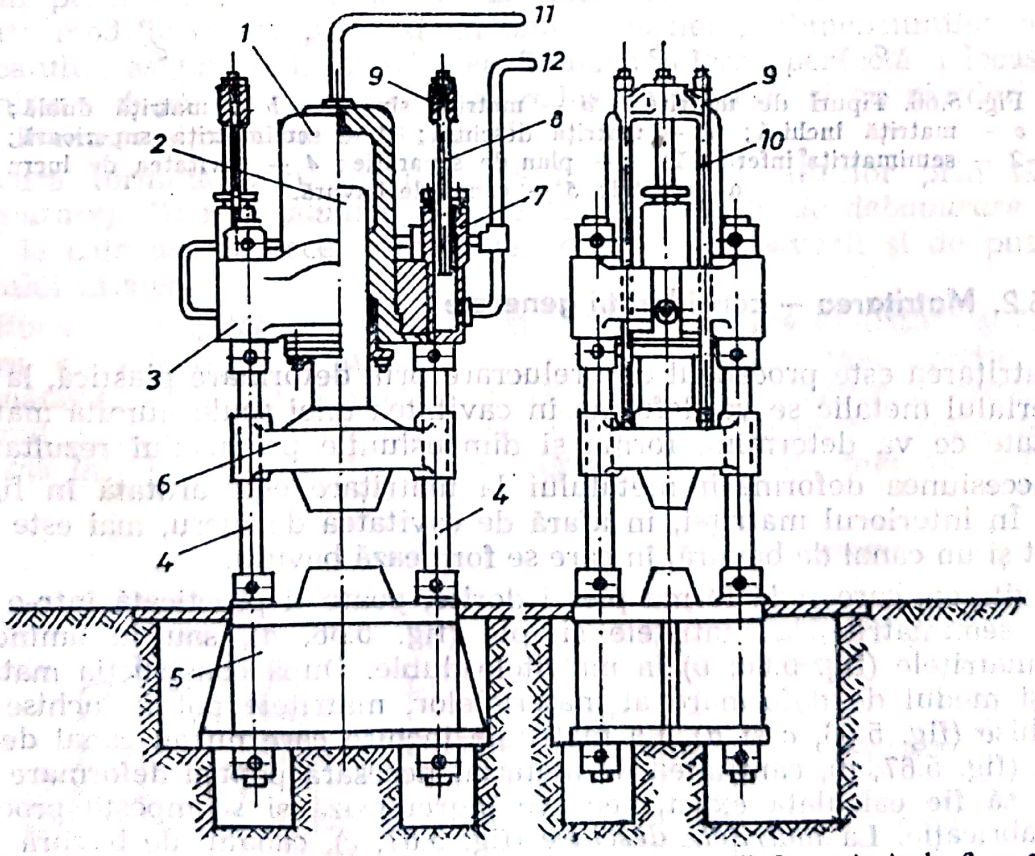


Fig. 5.64. Schema unei prese hidraulice cu patru coloane: *1* — cilindru principal; *2* — piston plunjer; *3* — traversă superioară; *4* — montanți (coloane); *5* — batiu; *6* — traversa mobilă (sania presei); *7* — cilindru pentru ridicarea traversei mobile; *8* — piston de ridicare; *9* — traverse de ridicare; *10* — tije pentru ridicarea traversei mobile; *11* — conductă de presiune pentru presare; *12* — conductă pentru lichidul de ridicare.

Scanned with OKEN Scanner

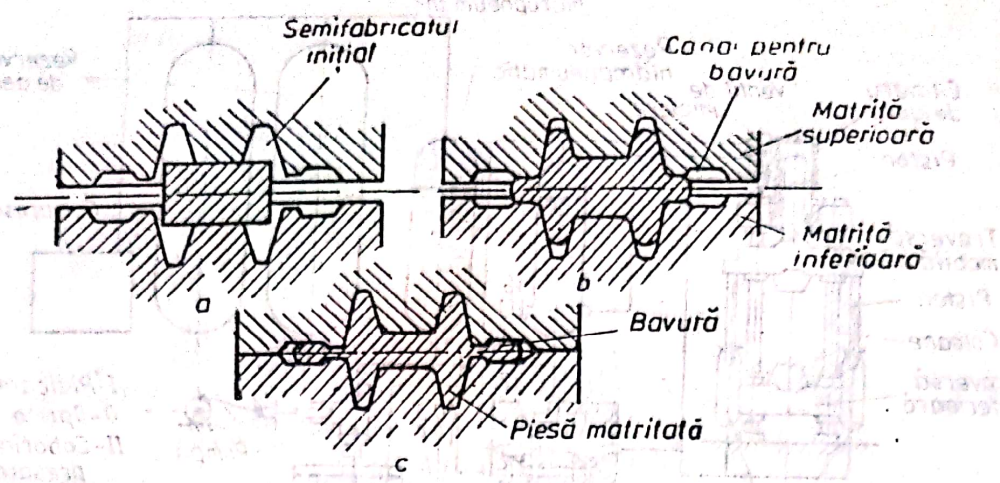


Fig. 5.65. Deformarea treptată a materialului în timpul matrițării: *a* — semifabricatul încă nedeformat; *b* — o fază intermediară; *c* — faza finală, când matrița este complet închisă.

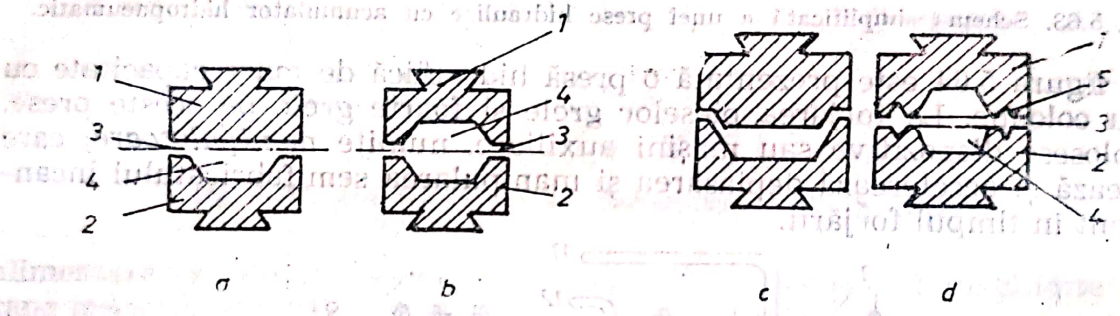


Fig. 5.66. Tipuri de matrițe: *a* — matriță simplă; *b* — matriță dublă; *c* — matriță închisă; *d* — matriță deschisă; *1* — semimatrița superioară; *2* — semimatrița inferioară; *3* — plan de separație; *4* — cavitatea de lucru a matriței; *5* — canal de bavură.

5.6.2. Matrițarea — considerații generale

Matrițarea este procedeul de prelucrare prin deformare plastică, la care materialul metalic se va deforma în cavitatea unei scule numită matriță, cavitate ce va determina forma și dimensiunile produsului rezultat.

Succesiunea deformării metalului la matrițare este arătată în figura 5.65. În interiorul matriței, în afară de cavitatea de lucru, mai este prevăzut și un canal de bavură, în care se formează bavura.

Cavitatea, care redă forma piesei dorite, poate fi practicată într-o singură semimatriță la matrițele simple (fig. 5.66, *a*), sau în amîndouă semimatrițele (fig. 5.66, *b*) la matrițele duble. După construcția matrițelor și modul de deformare al materialelor, matrițele pot fi închise sau deschise (fig. 5.66, *c* și *d*). La matrițele închise care nu au canal de bavură (fig. 5.67, *a*), cantitatea de material necesară pentru deformare trebuie să fie calculată exact, ceea ce îngreunează și scumpește procesul de fabricație. La *matrițele deschise* (fig. 5.67, *c*), canalul de bavură permite scurgerea surplusului de material și, totodată, umplerea completă a cavității matriței. Deoarece matrițarea pieselor mai complicate se face în mai multe faze, matrițele posedă, de obicei, mai multe *locașuri: de pregătire; de prematrițare; de matrițare finală*, acesta din urmă repre-

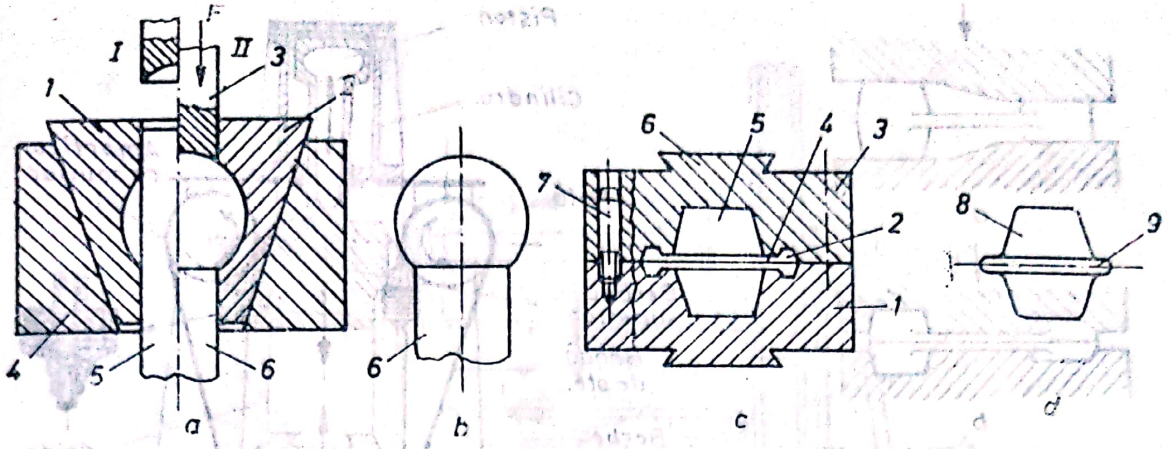


Fig. 5.67. Modul de funcționare a diferitelor tipuri de matrițe: *a* și *b* — matriță închisă și piesa matrițată în aceasta; *1* și *2* — semimatrițe; *3* — poanson de lovire axială; *4* — inel de asamblare a semimatrițelor conice; *5* — semifabricatul înainte de matrițare (faza *I*); *6* — piesa matrițată (după faza *II*); *c* și *d* — matriță deschisă și piesa matrițată în aceasta; *1* — semimatrița inferioară; *2* — canal de bavură; *3* — semimatrița superioară; *4* — plan de separație; *5* — cavitatea de lucru a matriței; *6* — ghidaj coadă de rîndunică (pană) pentru fixarea matriței în berbecul mașinii de matrițare; *7* — bulon de ghidare și centrare; *8* — piesa matrițată; *9* — bavura în jurul piesei matrițate.

zentînd negativul piesei matrițate, ținînd seama de adaosurile de contracție și cele de prelucrare mecanică prin așchiere, locaș care cuprinde și canalul pentru bavură. Rolul acestor locașuri multiple este acela de a permite modificarea treptată și dirijată a formei și dimensiunilor semifabricatului, asigurînd la matrițarea finală umplerea perfectă a locașului de finisare, după un număr cît mai redus de lovituri și cu pierderi minime de material prin bavura formată.

Bavura formată prin matrițare se îndepărtează ulterior prin tăiere *(debavurare). Tăierea bavurii* se execută cu o *ștanță de debavurare* (fig. 5.68), la cald sau la rece, în funcție de grosimea bavurii și de puterea utilajului existent.

Calibrarea se aplică ca o operație suplimentară după matrițare și debavurare, cu scopul de a asigura forme și dimensiuni mai precise și o îmbunătățire a calității suprafețelor, cu scopul de a reduce la minimum volumul prelucrărilor prin așchiere. Calibrarea poate fi executată *la cald sau la rece*, aceasta din urmă asigurînd o precizie mai mare. *Cali-*

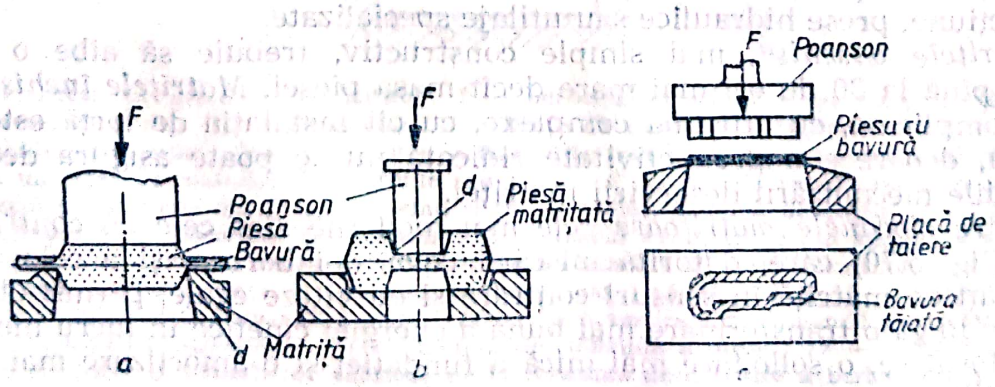


Fig. 5.68. Matrițe pentru debavurare: *a* — pentru tăierea bavurilor exterioare; *b* — pentru tăierea bavurilor interioare; *c* — părțile componente a unei matrițe (ștanțe) pentru debavurare.

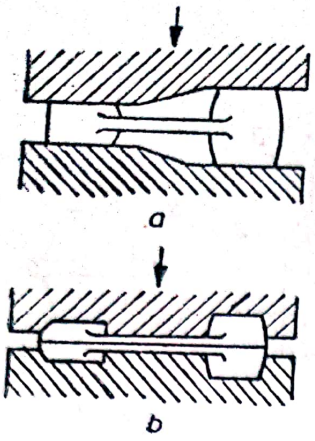


Fig. 5.69. Procedee de calibrare a pieselor matrițate: *a* — calibrare de suprafață; *b* — calibrare de volum.

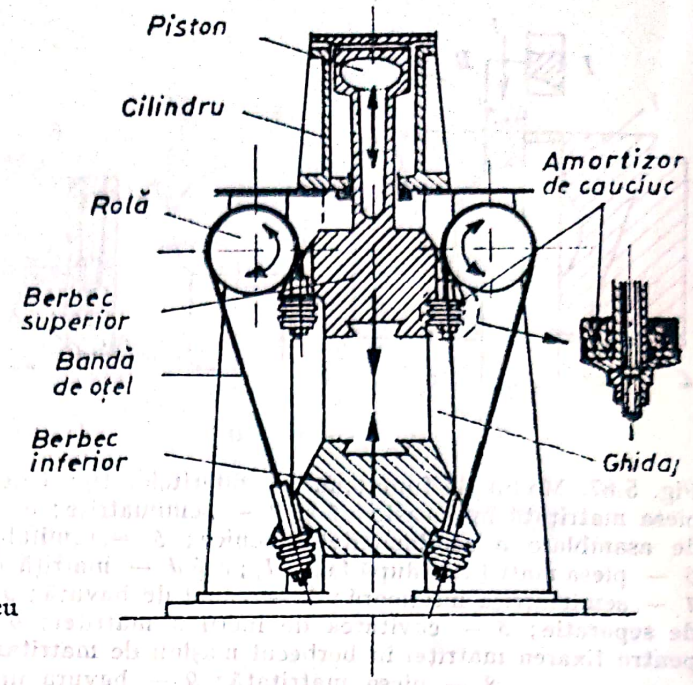


Fig. 5.70. Schema unui ciocan cu contralovitură.

brarea pe suprafață (fig. 5.69, *a*) asigură calibrarea numai a anumitor suprafețe ale piesei, însoțită de o ușoară creștere a dimensiunilor perpendiculare pe direcția de calibrare. *Calibrarea de volum* (fig. 5.69, *b*) asigură obținerea unor toleranțe mai restrînse pe toate suprafețele piesei.

Matrițarea prezintă o serie de *avantaje,* în comparație cu forjarea liberă și anume: consum mai redus de metal pentru executarea piesei; productivitate foarte ridicată; consumul redus de manoperă la prelucrările prin așchiere; uniformitatea și precizia pieselor fabricate în serie; posibilitatea de a obține piese de complexitate și diversitate mare, la un preț mai redus.

Totuși, introducerea matrițării este și frînată de o seamă de *dezavantaje,* acestea fiind: greutatea limitată a pieselor care se pot matrița (maximum 300 kg); costul ridicat al matrițelor care nu permit utilizarea acestui procedeu decît la producții de serie mijlocie sau mare (amortizarea cheltuielilor de la confecționarea matrițelor); necesitatea dotării atelierului de forjă cu utilaje specializate.

5.6.2.1. **Utilajul pentru matrițare.** Matrițele se montează pe instalația de forță care poate fi: un ciocan matrițor, o presă cu excentric, o presă cu fricțiune, prese hidraulice sau utilaje specializate.

Matrițele deschise, mai simple constructiv, trebuie să aibe o masă de 10 pînă la 30 de ori mai mare decît masa piesei. *Matrițele închise* sînt mai complicate, cu atît mai complexe, cu cît instalația de forță este mai simplă, deoarece o productivitate ridicată nu se poate asigura decît în condițiile mecanizării deservirii matriței.

Dintre *ciocanele matrițoare* cele mai moderne sînt cele *cu contralovitură* (fig. 5.70) care, datorită mișcării celor doi berbeci și a celor două jumătăți de matriță în sensuri contrare și cu viteze egale, permit obținerea, pe lîngă o transformare mai bună a energiei cinetice în lucru mecanic de deformare, o solicitare mai mică a fundației și o amortizare mai bună a virațiilor.

Presele cu fricțiune (fig. 5.71). Deplasarea berbecului *1* prin intermediul șurubului *2*, se face cu ajutorul volantului *5*, antrenat alternativ de

Scanned with OKEN Scanner

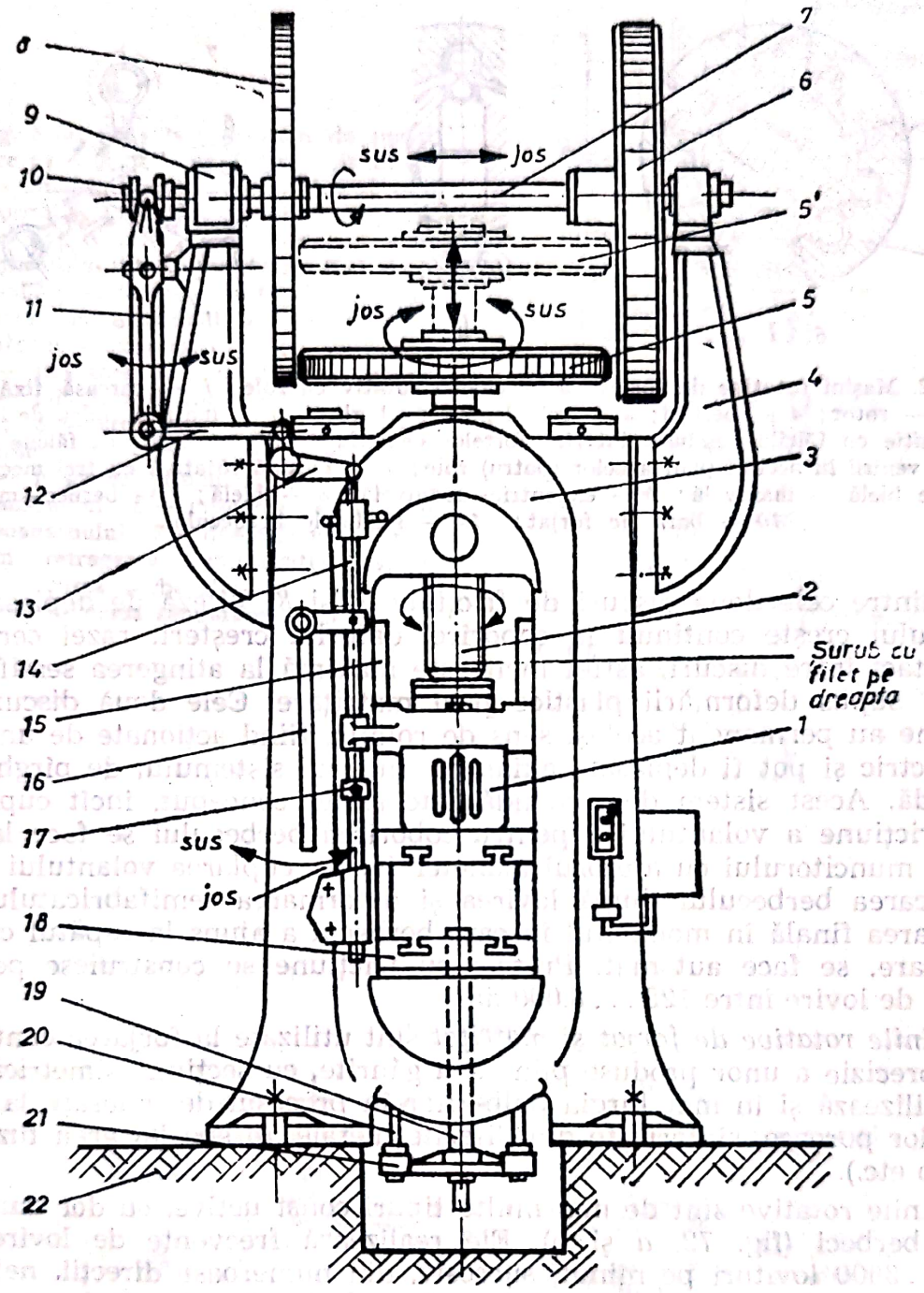


Fig. 5.71. Presă cu fricțiune (cu șurub): *1* — berbecul presei; *2* — șurub de forță; *3* — batiul presei cu piulița fixă a șurubului; *4* — brațe de susținere a lagărelor *9*; *5* — volantul șurubului în poziția inferioară (pentru a transmite mai bine mișcarea, volantul este acoperit cu un strat de material de fricțiune sau piele); *5'* — poziția superioară a volantului; *6* — discul de fricțiune din dreapta, avînd și rol de volant și șaibă de curea; *7* — arborele deplasabil axial al discurilor de fricțiune; 8 — discul de fricțiune din stînga; *9* — lagăr de alunecare; *10* — bucșă canelată pentru deplasarea axială a arborelui discurilor de fricțiune; *11* — pîrghie cu furcă, care se cuplează cu bucșa canelată *10*; *12* și *13* — pîrghii pentru transmiterea mișcării de comandă a presei; *14* — bară verticală de comandă a mișcărilor presei; *15* — ghidajele berbecului; *16* — maneta de comandă a presei; *17* — opritor reglabil, limitator de cursă și schimbător automat de la mișcarea de coborîre a berbecului la cea de urcare; *18* — masa fixă a presei; *19* — extractor pentru scoaterea piesei din semimatrița inferioară, fixată pe masa *18*; *20* — tije de ridicare a extractorului în momentul cînd berbecul se apropie de poziția limită superioară; *21* — traversa extractorului; *22* — fundație de beton armat.

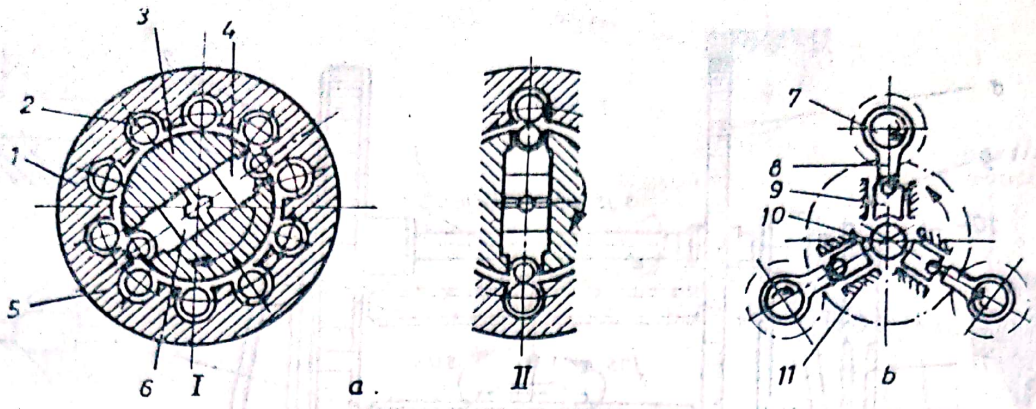


Fig. 5.72. Mașini rotative de forjat: *a* — ciocan rotativ cu role; *1* — carcasă fixă; *2* — role; *3* — rotor; *4* — berbec; *5* — rolă legată de berbec; *6* — matrița (falca de lovire); *I* — poziție cu fălcile deschise datorită forțelor centrifuge; *II* — poziție cu fălcile închise datorită venirii în același plan a celor (patru) role; *b* — mașină rotativă cu trei mecanisme planetare bielă — manivelă; *7* — excentric—manivelă; *8* — bielă; *9* — berbec—matriță; *10* — bara de forjat; *11* — ghidajele berbecului.

unul dintre cele două discuri de fricțiune *6* și *8*. Viteza de deplasare a berbecului crește continuu la coborîre, datorită creșterii razei cercului de contact între discuri, astfel încît este maximă la atingerea semifabricatului supus deformării plastice prin matrițare. Cele două discuri de fricțiune au permanent același sens de rotație, fiind acționate de un motor electric și pot fi deplasate axial, cu ajutorul sistemului de pîrghii de comandă. Acest sistem de comandă este astfel conceput, încît cuplarea prin fricțiune a volantului *5* pentru coborîrea berbecului se face la comanda muncitorului cu ajutorul manetei *16*, iar cuplarea volantului pentru urcarea berbecului (după lovirea și deformarea semifabricatului) și decuplarea finală în momentul în care berbecul a ajuns la capătul cursei de urcare, se face automat. Presele cu fricțiune se construiesc pentru energii de lovire între 125 . . . 8.000 daJ.

Mașinile rotative de forjat și matrițat sînt utilizate la forjarea continuă și de precizie a unor produse pline sau găurite, cu secțiune simetrică. Se mai utilizează și în metalurgia pulberilor în procesul de îndesare la cald a barelor poroase, sinterizate din diferite metale, în special greu fuzibile (W, Mo etc.).

Mașinile rotative sînt de mai multe tipuri constructive, cu doi sau mai mulți berbeci (fig. 72, *a* și *b*). Ele realizează frecvențe de lovire de 1600 . . . 3600 lovituri pe minut, succesiv, din numeroase direcții, nefiind nevoie de rotirea semifabricatului, care trebuie să primească numai o mișcare lentă de înaintare axială.

5.6.2.2. Matrițarea pe mașini de forjat orizontale. În figura 5.73 este reprezentată schema procesului de matrițare la o mașină de forjat orizontală. La piesele mai complicate, locașul necesar realizării formei dorite este repartizat în toate cele trei părți ale sculei și anume în semimatrița fixă, în cea mobilă și în poanson.

Mașinile de forjat și matrițat, a căror schemă cinematică este prezentată în figura 5.74, deformează materialul în matrițe închise. Dispunînd de un grad înalt de automatizare, utilajul se folosește în cadrul producției de serie mare sau masă pentru piese relativ simple și de greutate mică și mijlocie ca: corpuri de șuruburi, bile, role și inele pentru rulmenți etc.

Scanned with OKEN Scanner

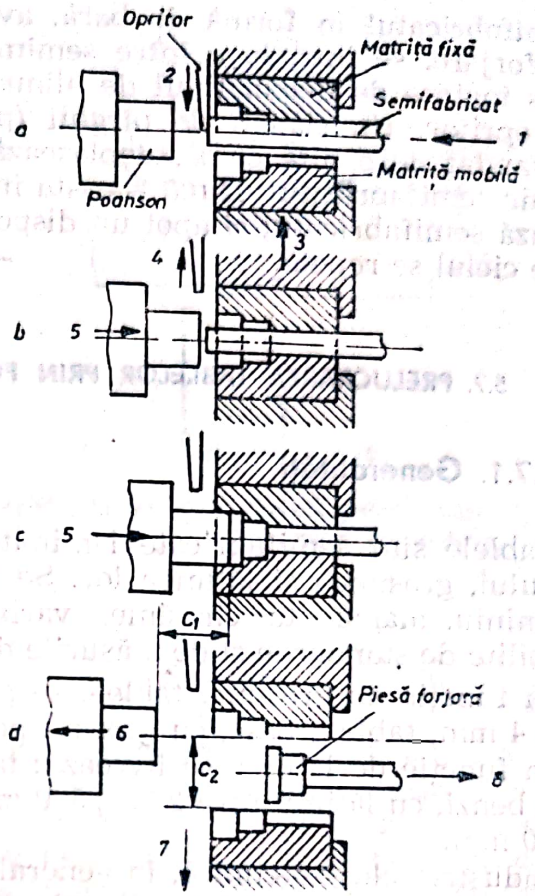


Fig. 5.73. Schema procesului de matriţare pe o maşină de forjat orizontală: *a* — înaintarea barei-semifabricat pînă la opritor (limitarea cantităţii de material care va fi refulat); *b* — strîngerea semifabricatului între semimatriţa fixă şi cea mobilă şi retragerea opritorului; *c* — refularea materialului; *d* — deschiderea matriţei şi scoaterea piesei matriţate; *1* — mişcarea de înaintare a barei; *2* — mişcarea de înaintare a opritorului; *3* — strîngerea barei cu matriţa mobilă; *4* — retragerea opritorului; *5* — mişcarea principală de lovire a poansonului; *6* — mişcarea de retragere a poansonului; *7* — deschiderea matriţei prin retragerea semimatriţei mobile; C_1 — cursa berbecului cu poansonul; C_2 — cursa semimatriţei mobile.

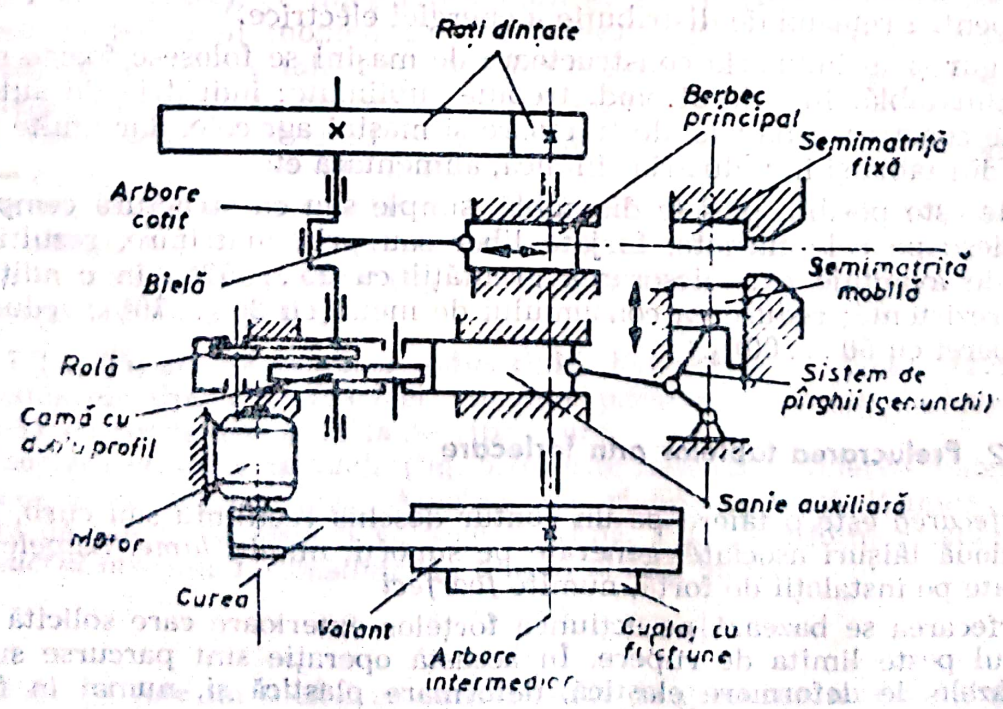


Fig. 5.74. Schema cinematică a unei maşini de forjat orizontale.

Semifabricatul în formă de bară, avînd capătul încălzit la temperatura de forjare, se introduce între semimatrița fixă și cea mobilă, fiind împins înainte de dispozitivul de alimentare, comandat de o camă, pînă la un opritor. Un sistem de pîrghii (pe principiul preselor cu genunchi), comandat de o altă camă, deplasează semimatrița mobilă și fixează puternic semifabricatul. După aceasta intră în acțiune poansonul care deformează semifabricatul și apoi un dispozitiv de retezare taie produsul, după care ciclul se repetă.

5.7. PRELUCRAREA TABLELOR PRIN FORFECARE ȘI DEFORMARE PLASTICA

5.7.1. Generalități

Tablele sînt semifabricate laminate, caracterizate prin calitatea materialului, grosimea și lățimea lor. Se laminează table de oțel, cupru, zinc, aluminiu, alamă etc. Grosimea variază între 0,5—80 mm, valorile fiind stabilite de standarde și de măsurile de tipizare în vigoare.

În funcție de grosime, tablele se grupează în: table subțiri, cu grosimi sub 4 mm, table groase, cu grosimi peste 4 mm.

În funcție de lățime, se livrează: table înguste, sub formă de platbande sau benzi, cu lățimi între 20 . . . 500 mm; table late, cu lățimi între 1000 . . . 2000 mm.

Industria electrotehnică, în general, este o mare consumatoare de table, deoarece aproximativ 50% din piesele, pe care le necesită diferitele construcții, se fac din tablă supusă la variate prelucrări de deformare plastică, cum sînt ambutisarea, ștanțarea, îndoirea, nervurarea etc.

Se obțin astfel: cutii și scuturi de mașini și aparate electrice; cuve pentru transformatoare de putere; condensatoare; tole pentru motoare electrice și transformatoare; schelete suport pentru aparatură radio-TV; stîlpi pentru rețeaua de distribuție a energiei electrice.

Desigur și în industria constructoare de mașini se folosesc foarte multe piese din tablă. În primul rînd, trebuie subliniate: industria de automobile, de construcții navale, de tractoare și mașini agricole, dar multe piese se fac din tablă și în industria chimică, alimentară etc.

Unde este posibil, piesele din tablă, simple sau cu structură complexă, înlocuiesc pe cele turnate, forjate liber sau prin matrițare, rezultînd o serie de avantaje ca: micșorarea greutății cu 25 . . . 50% în condiții de egală rezistență; reducerea consumului de metal cu 20 . . . 70%; reducerea manoperei cu 50 . . . 80%.

5.7.2. Prelucrarea tablelor prin forfecare

Forfecarea este o tăiere pe un contur deschis rectiliniu sau curb, folosind două tăișuri asociate, generate pe suporți, numiți *lame*. Lamele sînt montate pe instalații de forță, numite *foarfeci*.

Forfecarea se bazează pe acțiunea forțelor exterioare care solicită materialul peste limita de rupere. În această operație sînt parcurse succesiv fazele de deformare elastică, deformare plastică și, numai în final, faza de rupere intra- și apoi intercristalină.

Scanned with OKEN Scanner

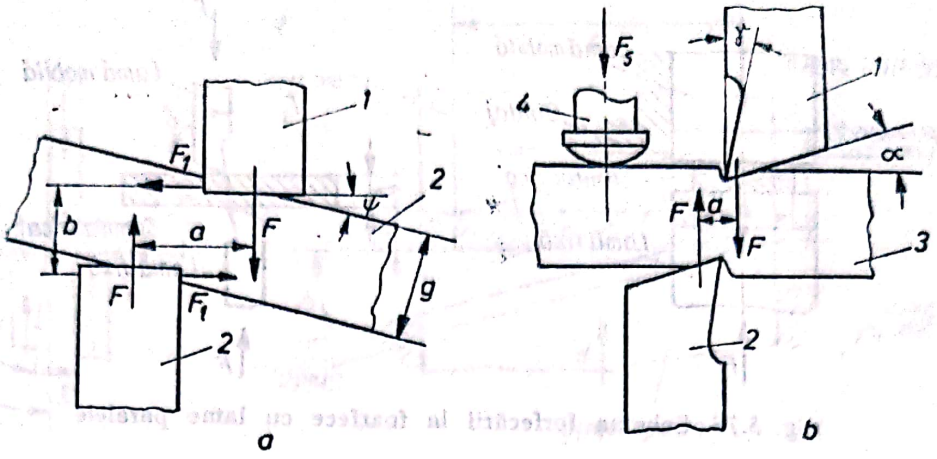


Fig. 5.75. Rotirea materialului în timpul forfecării și măsuri pentru micșorarea fenomenului de rotire: *a* — fără măsuri; *b* — prin geometrie adecvată a tăișului și dispozitiv de fixare.

Forța de tăiere prin forfecare F, este dată de relația:

$$F = K \cdot S \cdot \tau = K \cdot B \cdot g \cdot \tau \ [\text{N}], \qquad (5.12)$$

unde: K este un coeficient de corecție, cu valoarea între 1,0 ... 1,5; S — aria suprafeței forfecate, în mm²; τ — rezistența la forfecare a materialului, în N/mm²; B — lățimea materialului, în mm; g — grosimea materialului, în mm. Coeficientul K ține seama de condițiile de tăiere, care sînt mult influențate de tocirea treptată a munchiilor tăietoare ale lamelor, de valoarea jocului dintre lame, de neuniformitatea materialului, de condițiile ungerii lamelor și a tablei etc.

Pentru a împiedeca rotirea materialului în timpul tăierii, lamele, în zona tăișului, trebuie să aibe o geometrie adecvată, prezentată în figura 5.75. Datorită teșirii suprafeței de așezare cu un unghi $\alpha = 1{,}5 \ldots 3°$ *(unghi de așezare)*, se micșorează mult *momentul de rotire* $M = F \cdot a$, deoarece brațul a al momentului se micșorează mult, forța de forfecare deplasîndu-se înspre tăișul cuprins între suprafața de așezare și suprafața de degajare, teșită și ea cu un unghi $\gamma = 5 \ldots 15°$, numit *unghi de degajare*. Este adevărat că în acest caz se micșorează și *momentul stabilizator* $M_s = F_1 \cdot b$, dar nu semnificativ.

Pentru evitarea completă a rotirii materialului în timpul forfecării este obligatorie și fixarea materialului cu *dispozitive de strîngere* ce intră în dotarea foarfecilor (fig. 5.75, *b*) și acționează asupra materialului cu forța de strîngere F.

5.7.2.1. **Tipuri de foarfeci industriale.** Forfecarea se poate executa pe următoarele tipuri de foarfeci: cu lame paralele; cu lame înclinate (ghilotină); cu cuțite disc și cu lame vibratoare.

Foarfeca cu lame paralele (fig. 5.76) este folosită la tăierea materialelor groase și de lățime mică. Atacînd materialul pe toată lățimea sa, aici forța de tăiere va avea o valoare maximă, F_{max}, conform relației (5.12).

Lucrul mecanic L, consumat în timpul tăierii, va fi:

$$L = \frac{\lambda \cdot F_{max} \cdot h}{1000} \ [\text{Nm}], \qquad (5.13)$$

unde: λ este un coeficient care depinde de grosimea materialului (obișnuit $\lambda = 0{,}3 \ldots 0{,}75$); h — lungimea cursei active a lamei mobile, în mm.

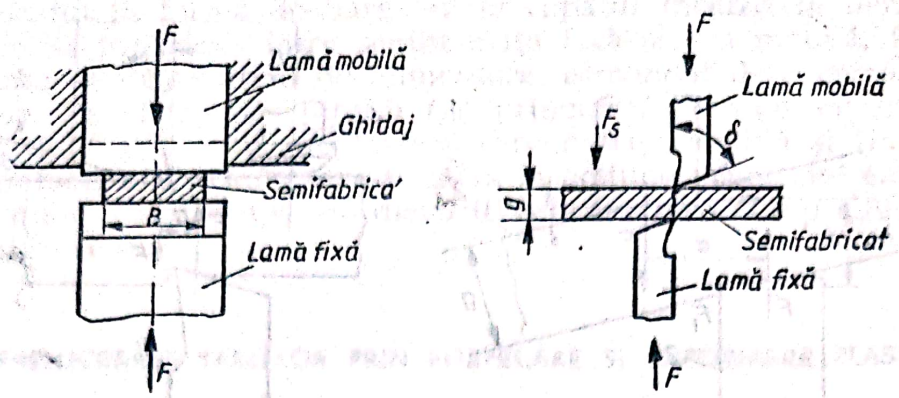


Fig. 5.76. Schema forfecării la foarfece cu lame paralele.

Puterea utilă de tăiere P_u este dată de relația:

$$P_u = \frac{L \cdot n}{60 \cdot 1000} \text{ [kW]}, \tag{5.14}$$

unde n este numărul de curse duble pe minut a lamei mobile. Puterea totală P_t este:

$$P_t = P_u \cdot \frac{a}{\eta} \text{ [kW]}, \tag{5.15}$$

unde a este un coeficient egal cu 1,1 ... 1,4 în funcție de uzura tăișurilor, iar η — randamentul mediu al foarfecii (0,5 ... 0,7).

Foarfeca cu lame înclinate (foarfeca ghilotină), figura 5.77. Muchiile tăietoare asociate fac între ele un *unghi* φ, numit *de înclinare* avînd valori cuprinse între 6 ... 9°. Datorită acestei înclinări, materialul nu este atacat simultan pe toată lățimea sa B, ci pe o lățime mult mai mică b, a cărei valoare maximă este funcție de grosimea g a materialului și de unghiul de înclinare φ. Această valoare b rămîne constantă pînă la tăierea materialului pe toată lățimea. Astfel forța de tăiere, comparativ cu tăierea pe foarfeci cu lame paralele, are valori mult mai mici, dar cursa H a lamei mobile este mult mai mare, decît grosimea g a tablei.

Forța de forfecare F_{max} este dată de relația:

$$F_{max} = \frac{0{,}5 \cdot g^2 \cdot \tau}{\text{tg} \cdot \varphi} \text{ [N]}, \tag{5.16}$$

cu semnificația cunoscută a termenilor.

Aceste tipuri de foarfeci se folosesc la tăierea tablelor de lățime mare, pînă la 4500 mm și grosime de maximum 40 mm.

Schema cinematică a unei *foarfeci ghilotină*, cu mecanism bielă-manivelă, este dată în figura 5.77, *b*. *Dispozitivul de strîngere a tablei* coboară înaintea lamei mobile, fiind acționat de un mecanism cu came, role și un dispozitiv cu arc. *Cuplajul*, comandat de o pedală, face legătura între volantul în permanentă mișcare de rotație și arborele cotit. Astfel, la fiecare apăsare scurtă pe pedală, arborele cotit va executa o singură rotație completă, după care cuplajul se deschide automat și o frînă oprește mișcarea lamei mobile în poziția superioară a acesteia.

Scanned with OKEN Scanner

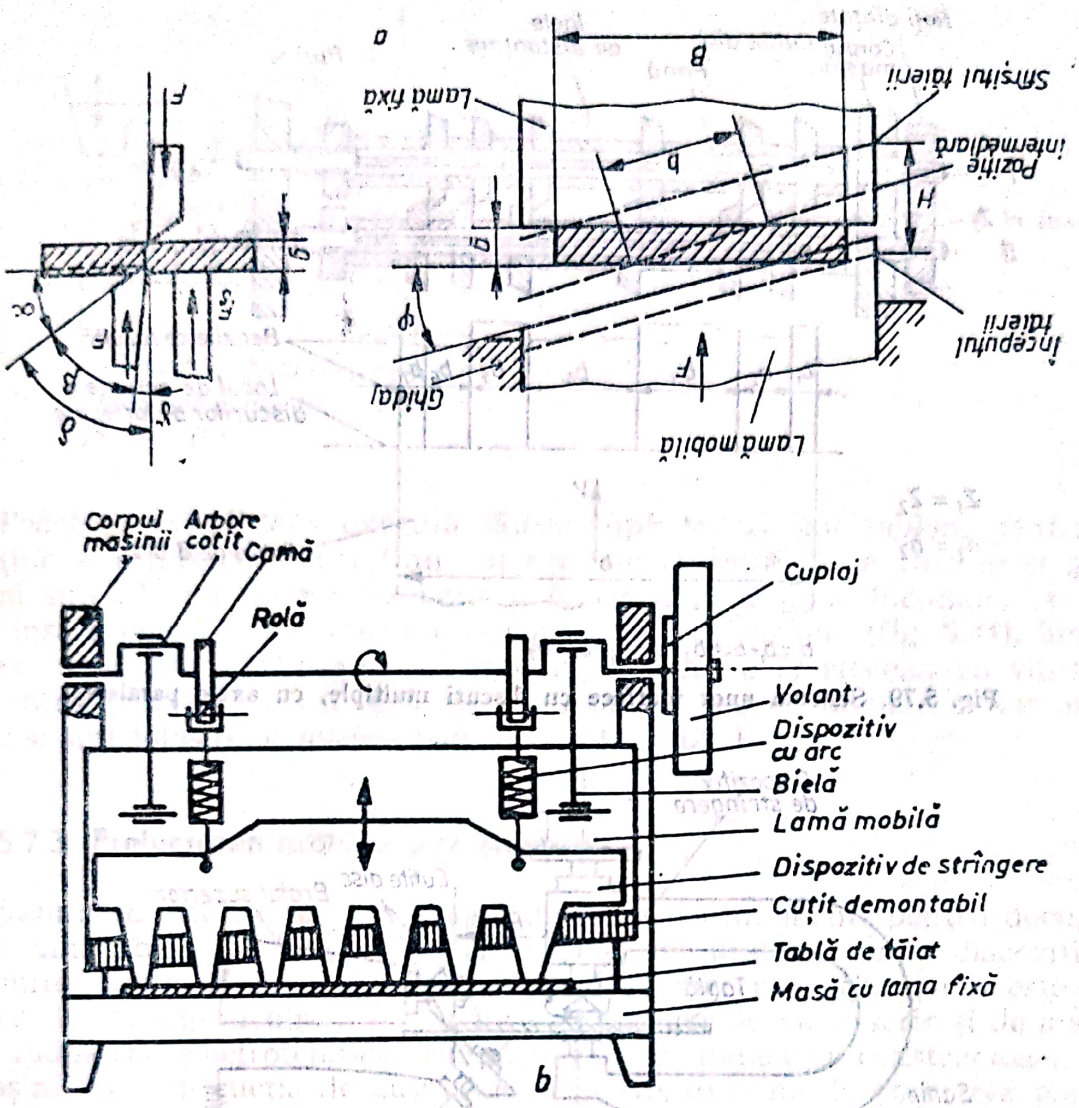


Fig. 5.77. Schema forfecării la foarfece cu lame înclinate (a) și schema unei foarfece ghilotină (*b*).

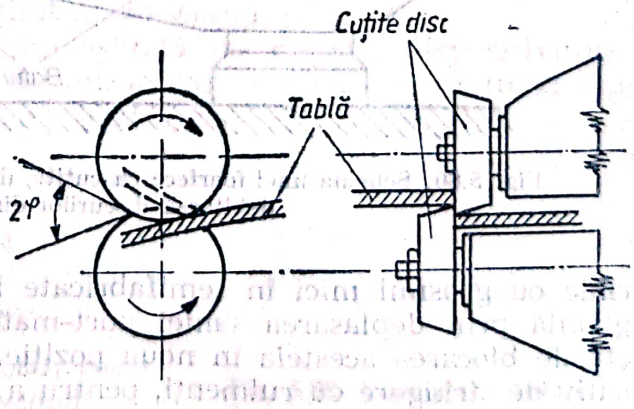


Fig. 5.78. Schema forfecării la foarfece cu cuțite disc.

Foarfeci cu cuțite disc (fig. 5.78) sînt folosite pentru tăierea tablelor în benzi sau alte forme, după un anumit trasaj sau după șablon. Grosimea materialelor ce se taie, este între 2,5 . . . 20 mm. Se întîlnesc mai multe variante constructive și anume cu o singură pereche (fig. 5.78), sau cu mai multe perechi de cuțite disc (fig. 5.79), avînd axele paralele, sau cu o singură pereche de cuțite disc cu axe înclinate (fig. 5.80) care taie ma-

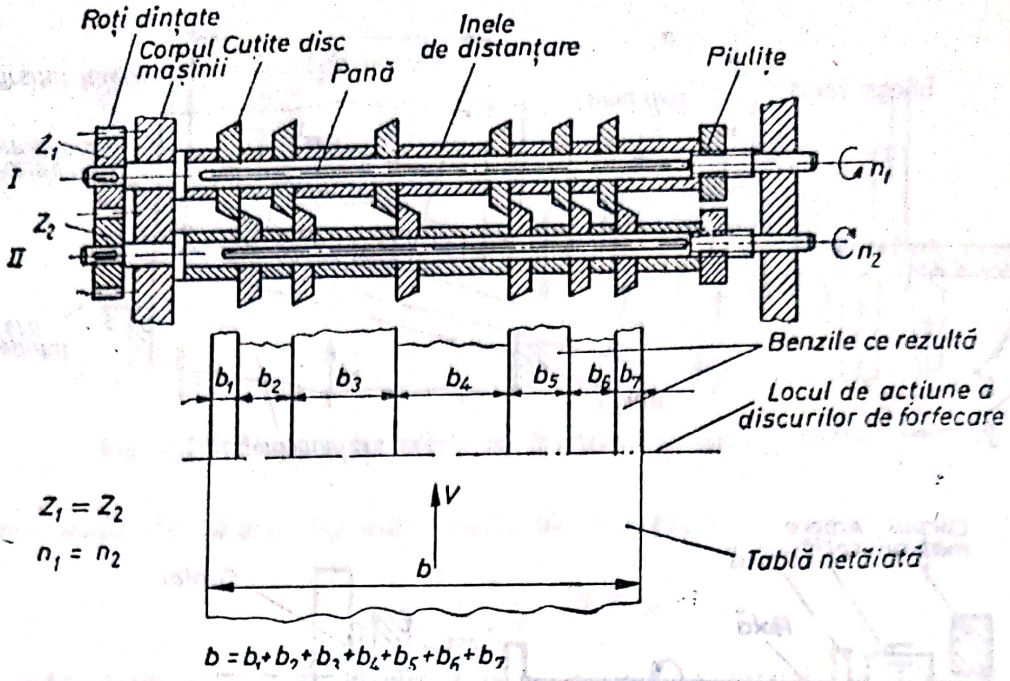


Fig. 5.79. Schema unor foarfece cu discuri multiple, cu axele paralele.

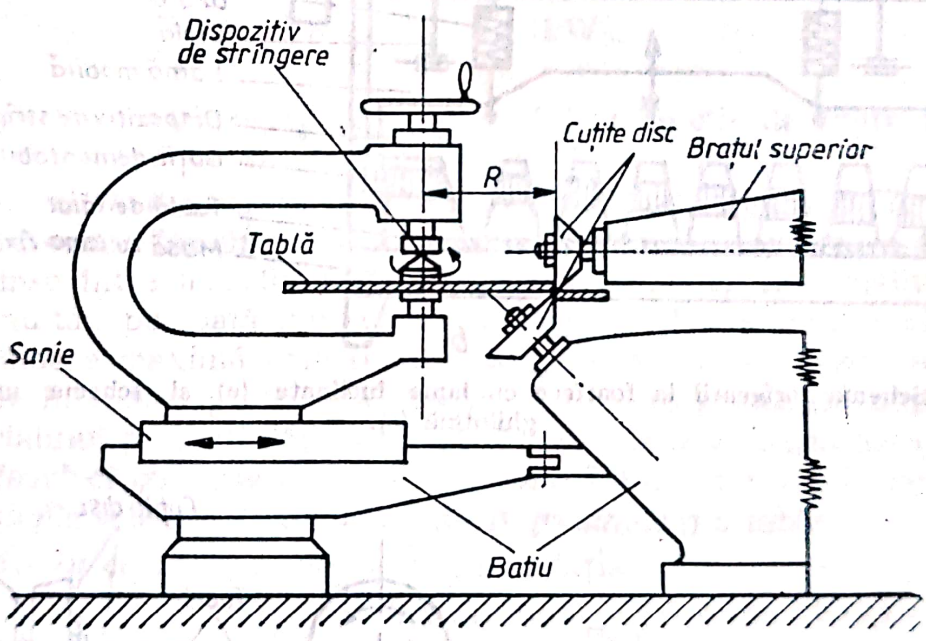


Fig. 5.80. Schema unei foarfece cu cuțite, disc, cu axe neparalele, pentru debitarea discurilor din tablă.

teriale cu grosimi mici în semifabricate în formă de disc, raza R fiind reglabilă prin deplasarea saniei port-material pe ghidajul batiului, urmată de blocarea acesteia în noua poziție. Tabla este fixată într-un dispozitiv de strîngere cu rulmenți, pentru a asigura o rotire ușoară a acesteia în timpul tăierii.

Cuțitele cu axe paralele au unghiul de apucare $2\alpha \cong 28°$ și viteza de tăiere între 5 . . . 20 m/min.

Atît la foarfecele cu lame înclinate, cît, mai ales, la cele cu cuțite disc, apare dezavantajul că materialul tăiat se curbează, fiind necesare operații suplimentare de îndreptare, în special în cazul tablelor mai groase.

Scanned with OKEN Scanner

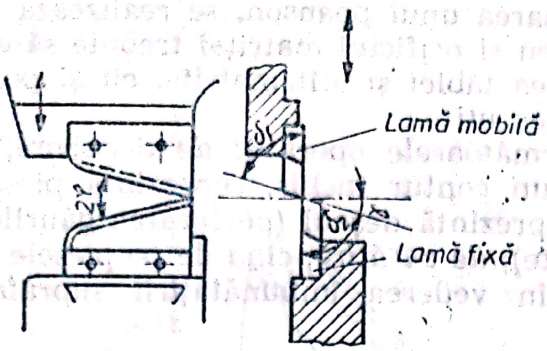


Fig. 5.81. Schema forfecării la foarfece cu vibrații.

Foarfeca cu vibrații execută tăieri după trasaj sau șablon, pentru a obține semifabricate curbilinii, cu raze de curbură peste 15 mm și grosimi sub 10 mm. Este o variantă a foarfecelui cu lame înclinate, lamele au însă lungimi mici și fac aproximativ 2500 curse/min. (fig. 5.81), lungimea cursei fiind de numai 2 . . . 3 mm. Variantele foarfecelor cu vibrații, de mînă (portative), sînt acționate pneumatic sau cu un mic motor electric și sînt folosite la tăierea tablelor subțiri, sub 1 mm.

5.7.3. Prelucrarea tablelor prin ștanțare

Ștanțarea este operația de tăiere după un contur închis pentru decuparea din table sau benzi a diferite piese cu ajutorul unor dispozitive, numite *ștanțe,* montate pe prese, de obicei mecanice. Ștanțarea este un procedeu foarte răspîndit în producerea pieselor de mare serie și de masă, în industria electrotehnică, radiotehnică, în industria constructoare de mașini, în construcția de autovehicule, nave, avioane, la obținerea pieselor de larg consum. Printre *avantajele* mai importante ale ștanțării amintim: calitate ridicată (dimensională, de formă și de suprafață) a produselor, productivitate foarte mare (zeci sau chiar sute de piese pe minut), posibilitate de automatizare, simplitatea procesului.

La ștanțare, tabla (banda) este așezată pe matrița dispozitivului de ștanțare (fig. 5.82), cu orificiul de forma corespunzătoare conturului pro-

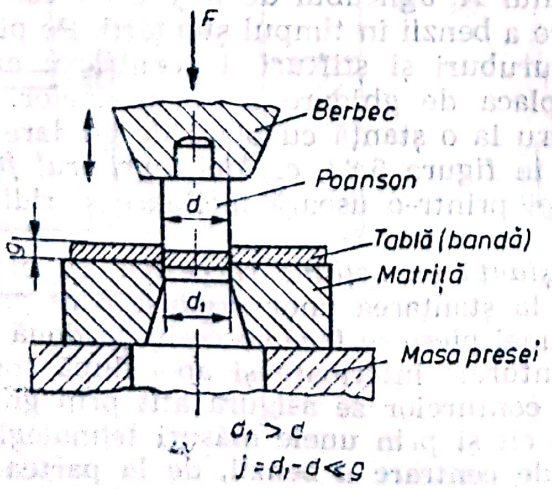


Fig. 5.82. Principiul ștanțării.

dusului ştanţat, iar apoi prin apăsarea unui poanson, se realizează separarea porţiunii dorite. Între poanson şi orificiul matriţei trebuie să existe un joc mult mai mic decît grosimea tablei şi atît matriţa, cît şi poansonul să aibe muchiile de tăiere bine ascuţite.

Prin ştanţare se pot realiza următoarele operaţii: *de decupare,* cînd partea separată din tablă, după un contur închis, reprezintă piesa; *de perforare,* cînd partea separată reprezintă deşeul (perforarea găurilor de diferite geometrii în piesele ştanţate); *de curăţire,* cînd de pe piesele ştanţate se îndepărtează un adaos în vederea îmbunătăţirii suprafeţelor tăiate.

Forţa necesară decupării după un contur închis se determină cu o relaţie asemănătoare cu cea de la forfecare la foarfeci cu lame paralele:

$$F = K \cdot S \cdot \tau = k \cdot l \cdot g \cdot \tau, \qquad (5.17)$$

unde: K este un coeficient ce depinde de forma conturului, forma şi starea ştanţei şi este cuprins între 1,0 . . . 1,3; S — aria secţiunii forfecate, în mm²; l — lungimea conturului, mm; g — grosimea materialului, mm; τ — rezistenţa materialului la ştanţare (forfecare).

5.7.3.1. **Tipuri reprezentative de ştanţe.** Ştanţele, din punct de vedere funcţional şi constructiv, pot fi de diferite tipuri. Astfel, din punct de vedere funcţional, ele pot fi: *cu acţiune simplă,* cu acţiune *succesivă,* sau cu acţiune *simultană.* Constructiv ele pot fi, după sistemul de ghidare: fără ghidare (numai ghidarea piesei), cu placă de ghidare, cu coloane de ghidare sau cu cilindru de ghidare, iar după sistemul de alimentare: cu opritor fix, cu opritor mobil sau cu dispozitiv automat de alimentare.

Dispozitivele de ştanţare operative sînt mai complexe, una şi aceeaşi ştanţă putînd fi clasificată după mai multe criterii. Ştanţa din figura 5.83, *a* este cu acţiune simplă, fără ghidarea poansonului şi fără dispozitiv de divizare. Serveşte, mai ales pentru operaţii de decuparea tablelor în vederea prelucrării în continuare prin ambutisare. Precizia nu este prea mare.

O variantă îmbunătăţită a ştanţelor cu acţiune simplă este arătată în figura 5.83, *b.* Calitatea mai bună a produselor este asigurată de placa de ghidare a poansonului, iar productivitatea mai mare şi coeficientul mai bun de utilizare a materialului, de către opritorul mobil cu arc. Acest opritor, la trecerea puntiţei se ridică, după care banda este trasă înapoi, ca puntiţa să se sprijine pe faţa posterioară a opritorului, asigurîndu-se astfel respectarea precisă a pasului *A.* Jgheabul de la intrare contribuie la o mai bună susţinere şi ghidare a benzii în timpul ştanţării. Pe placa de bază a ştanţei sînt fixate cu şuruburi şi ştifturi de centrare: matriţa, riglele laterale de ghidare şi placa de ghidare a poansoanelor. Toate aceste elemente şi modul de lucru la o ştanţă cu placă de ghidare pot fi observate bine în exemplul dat în figura 5.83, *c.* Aici, *opritorul fix* trebuie să permită trecerea puntiţei printr-o uşoară înclinare şi ridicare a benzii.

În figura 5.84 se prezintă o *ştanţă cu acţiune succesivă,* cu placă de ghidare şi opritor fix. Serveşte la ştanţarea unor produse care prezintă şi conture interioare. Ştanţarea unei piese se face succesiv, în două etape, mai întîi după conturul sau conturele interioare şi apoi după conturul exterior. Poziţionarea corectă a conturelor se asigură atît prin ghidarea corespunzătoare a poansoanelor, cît şi prin unele măsuri tehnologice, ca de exemplu, folosirea ştiftului de centrare a benzii, de la partea fron-

Scanned with OKEN Scanner

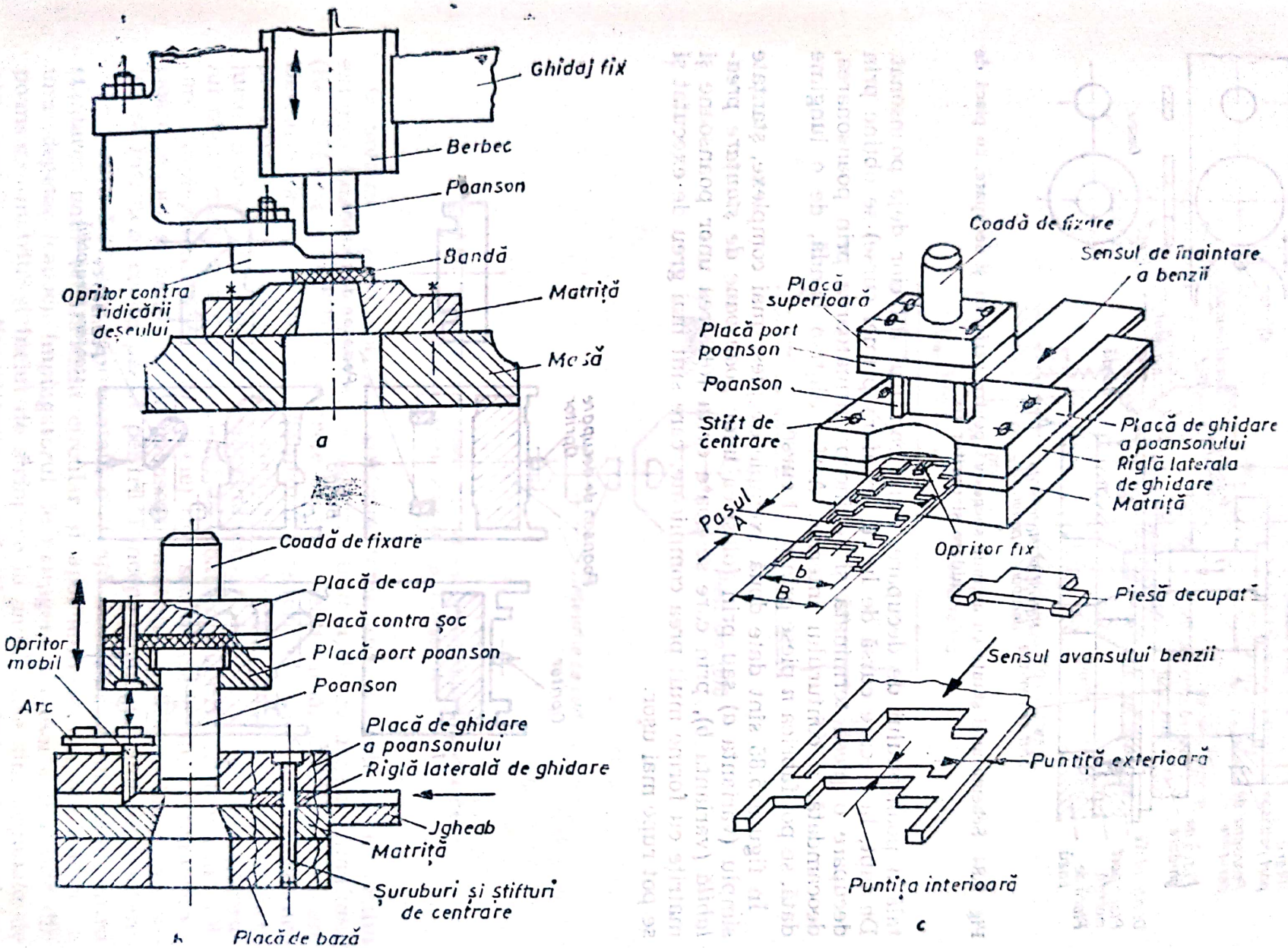


Fig. 5.83. Schema unei ștanțe cu acțiune simplă, fără placă de ghidare (*a*), cu placă de ghidare și opritor mobil (*b*) și modul de lucru la o ștanță cu placă de ghidare.

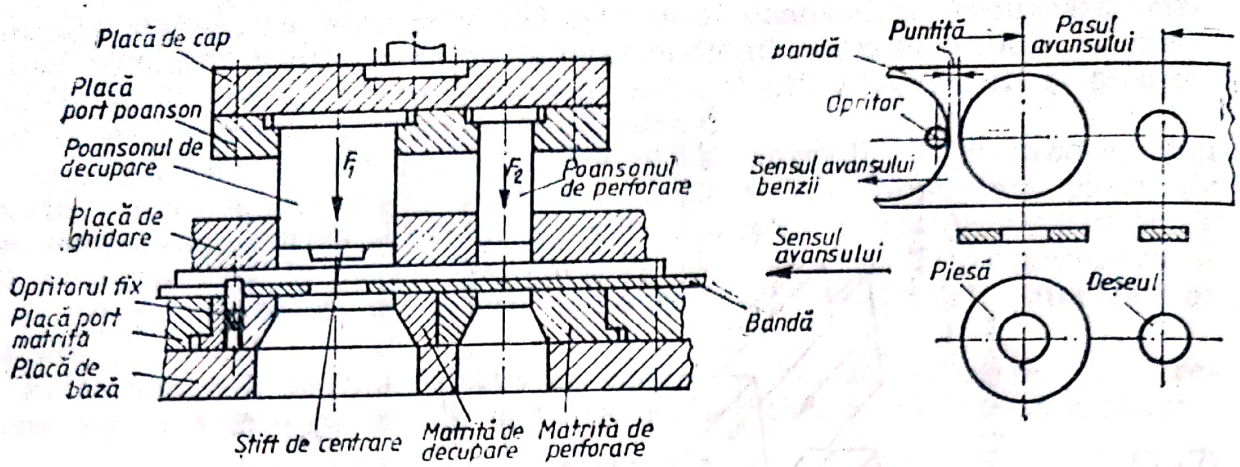


Fig. 5.84. Schema unei ştanţe cu acţiune succesivă pentru perforare şi decupare, cu placă de ghidare şi opritor fix.

tală a poansonului de decupare, după conturul interior deja poansonat. De fapt, la fiecare cursă de lucru (în afara primei curse) se obține prin decupare o piesă terminată și se începe următoarea prin poansonarea, deocamdată, a conturului interior. Astfel dintr-o bandă, de o lungime dată, se pot fabrica n piese prin $n+1$ curse.

În figura 5.85 sînt date două exemple de piese mai complexe, ștanțate simplu (varianta *a*) sau prin folosirea unor *poansoane de ștanțare prealabilă* (varianta *b*), prin care se poate evita folosirea unor poansoane și matrițe cu forme mult prea complicate, care sînt mai greu de executat și se pot rupe mai ușor.

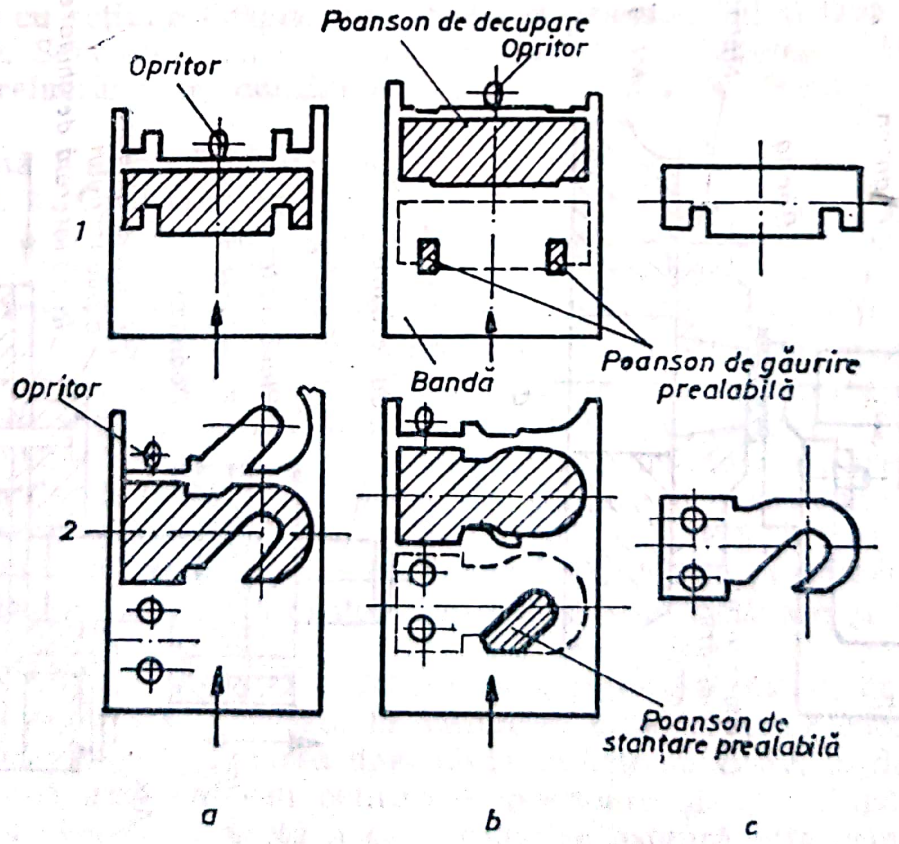


Fig. 5.85. Exemple de piese ştanţate cu sau fără poansoane de ştanţare prealabilă.

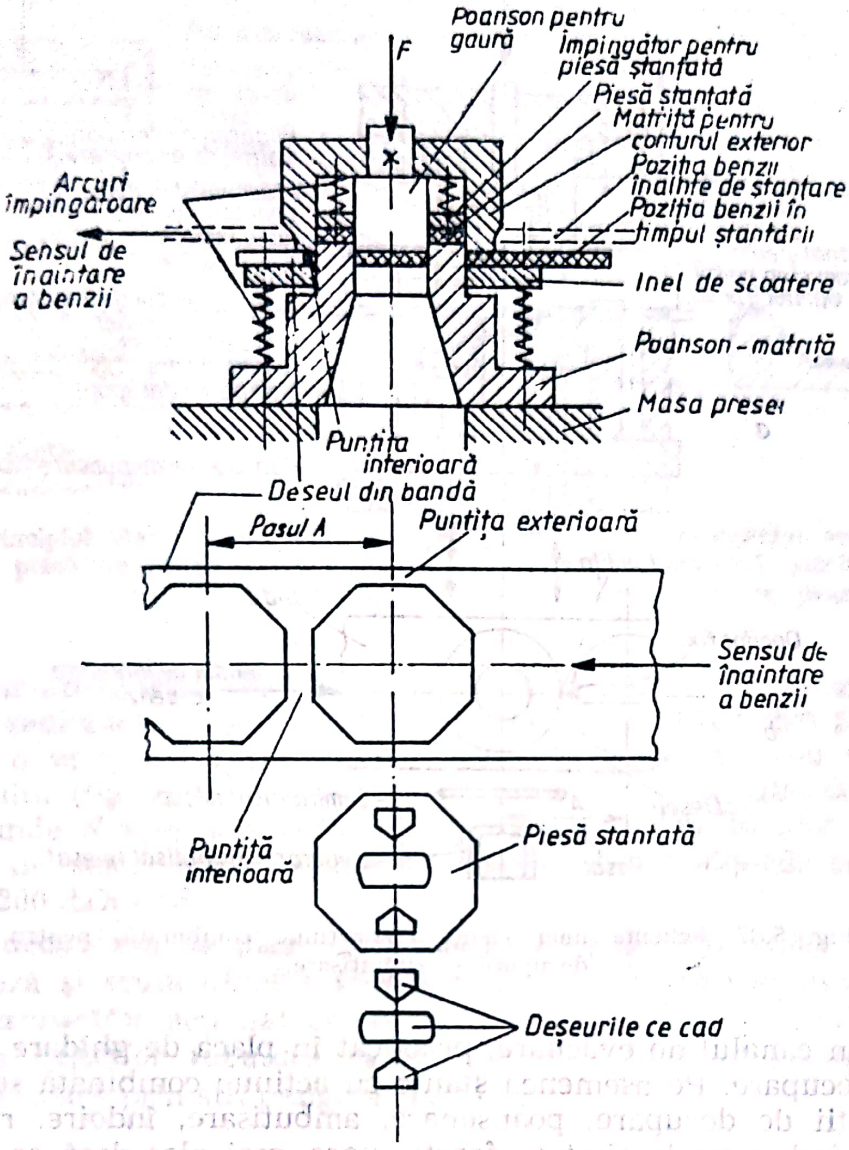


Fig. 5.86. Schema unei ștanțe cu acțiune simultană și modul de obținere a piesei ștanțate și a deșeurilor.

O precizie superioară și o centrare totdeauna perfectă a conturului exterior față de cel interior, se asigură cu *ștanțele cu acțiune simultană* (fig. 5.86) cu care toate conturele de pe aceeași piesă, se atacă simultan. Deșeurile de la poansonarea conturului interior cad în jos, piesa se retrage provizoriu în matrița pentru conturul exterior, iar banda coboară în jurul poansonului-matriță, comprimîndu-se atît arcurile împingătorului piesei ștanțate, cît și a inelului de scoatere a benzii. La cursa de ridicare, împingătoarele (extractoarele) vor scoate piesa din matrița superioară mobilă și banda de pe poansonul-matriță, după care banda va putea să înainteze cu un pas *A* pentru a începe ciclul următor de ștanțare.

În figura 5.87 este reprezentată o *ștanță cu acțiune combinată* pentru ștanțarea unui semifabricat circular și apoi ambutisarea din acesta a unui degetar (capac). Împingătorul de extragere a piesei ambutisate din poansonul-matriță și inelul de strîngere la ambutisare sînt acționate de niște arcuri sau de dispozitivele speciale ale presei. Îndepărtarea piesei, scoase din poansonul-matriță, se face, de obicei, cu un jet de aer com-

Scanned with OKEN Scanner

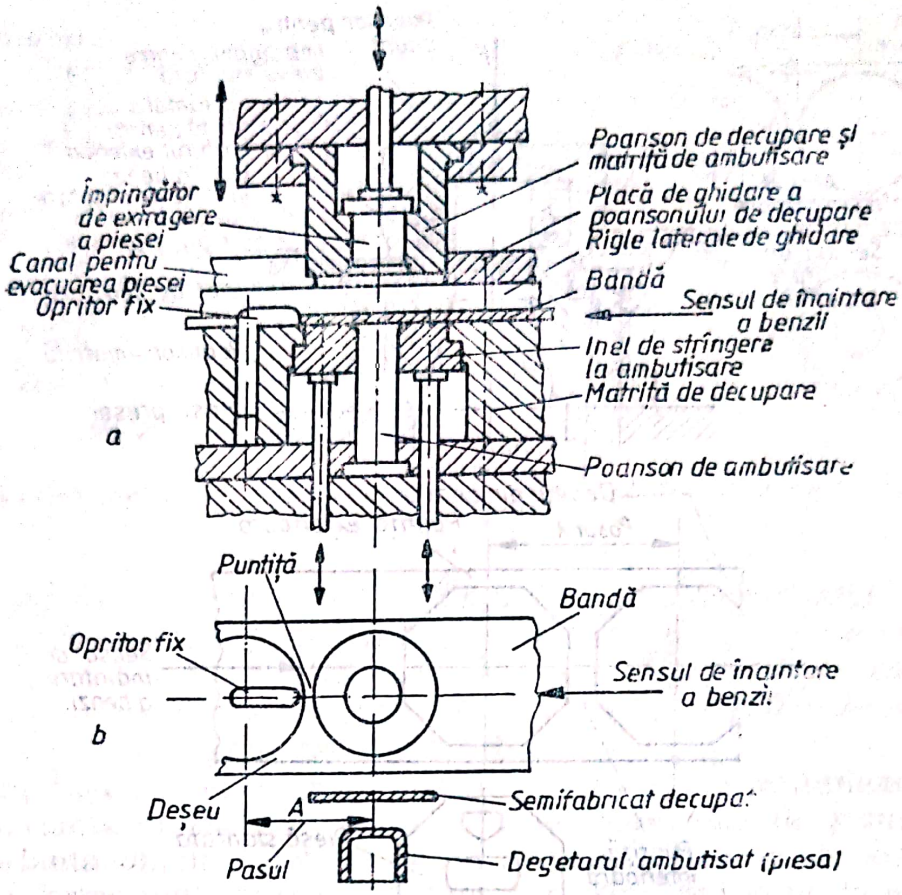


Fig. 5.87. Schema unei ștanțe cu acțiune combinată, pentru decupare și ambutisare.

primat, prin canalul de evacuare, practicat în placa de ghidare a poansonului de decupare. Pe asemenea ștanțe cu acțiune combinată se pot executa operații de decupare, poansonare, ambutisare, îndoire, răsfrîngere etc., ele avînd o productivitate foarte mare, mai ales dacă se utilizează benzi de mare lungime, sub formă de *rulouri* și se asigură un avans automat intermitent al semifabricatului.

De multe ori seria de fabricație este mică sau materialele sînt altele decît metalice (preșpan, cauciuc, mase plastice, piele etc.), situații în care folosirea unor ștanțe complicate ar scumpi foarte mult produsul. În astfel de ocazii, foarte frecvente, mai ales în industria aparatelor electrice și electronice, se folosesc ștanțe mai simple, mai economicoase. Așa, de exemplu, la ștanțarea chiar a unor materiale metalice (tablă de oțel moale sau de alamă, aluminiu, cu grosimi de cel mult 1 mm pentru oțel și 2 mm pentru aluminiu), poansonul pentru conturul interior sau placa de ștanțare pentru conturul exterior, se poate înlocui cu o placă de cauciuc (fig. 5.88). Procedeul are avantajul executării foarte rapide și ușoare, cu un consum minim de oțel de scule și la un preț deosebit de scăzut a șablonului necesar. Astfel se pot executa operații de decupare și perforare, combinate uneori și cu operații de îndoire, răsfrîngere și de ambutisare de mică adîncime. Ca dezavantaj apare însă consumul mai mare de tablă (deșeuri mai mari), deoarece materialul trebuie să depășească în toate direcțiile conturul șablonului cel puțin cu cota l, pentru ca aceste margini fiind îndoite în jos, să fie strînse între masa presei și placa de

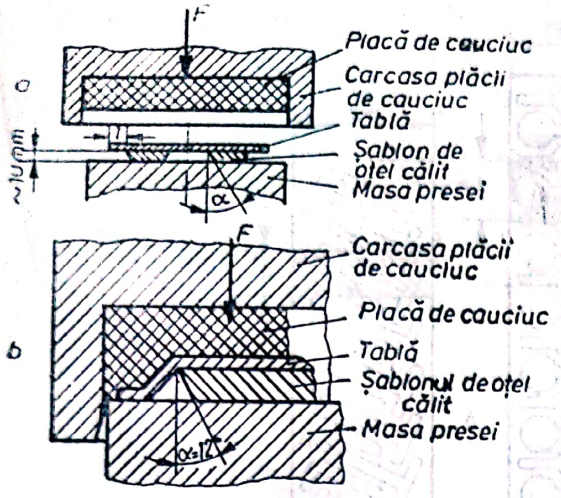


Fig. 5.88. Principiul ştanţării cu ajutorul plăcii de cauciuc.

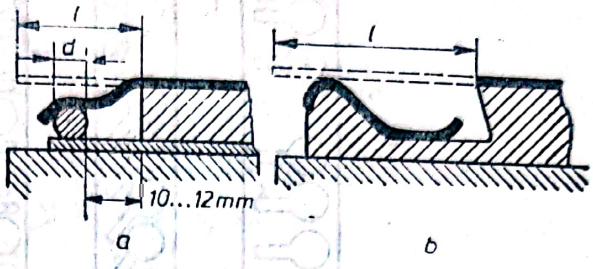
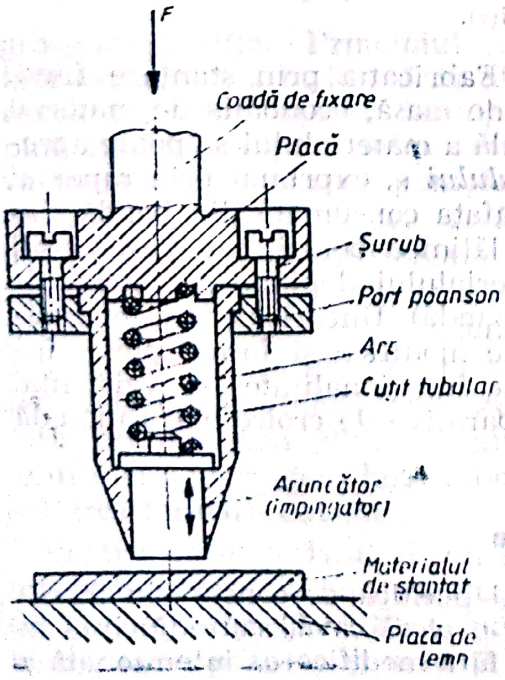


Fig. 5.89. Fixarea marginilor semifabricatului la decuparea cu ajutorul plăcii de cauciuc: *a* — pe o vergea; *b* — pe pragul şablonului.

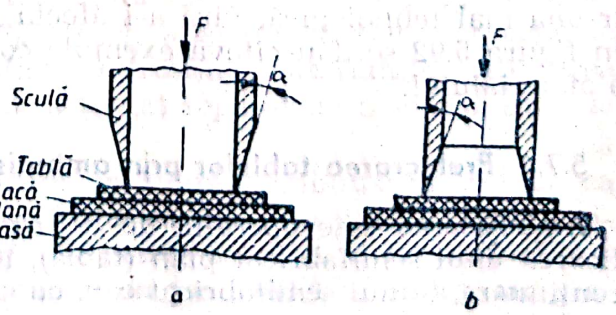
cauciuc, iar apoi, fiind puternic întinse, să se rupă de-a lungul muchiei ascuţite a şablonului (fig. 5.88, *b*). Acest adaos poate fi redus prin metoda fixării pe o vergea, care urmăreşte conturul şablonului, sau pe un prag al şablonului (fig. 5.89, *a* şi *b*). Forţa necesară se calculează cu relaţia $F = S \cdot p$, unde S este aria totală a plăcii de cauciuc, în cm², iar p este presiunea de deformare a pernei de cauciuc, avînd valorile cuprinse între 70 . . . 200 daN/cm².

Pentru decuparea de piese prin străpungere din materiale nemetalice, se utilizează şi scula numită *preducea* (fig. 5.90). Această sculă dispune şi de un *aruncător* acţionat de un arc. În figura 5.91 este dat modul de ascuţire a *cuţitelor tubulare* pentru decupare prin străpungere *(a)* şi pentru perforare prin străpungere *(b)*.



←Fig. 5.90. Sculă de decupare cu tăiş lamă (de străpungere) pentru materiale nemetalice (preducea cu aruncător).

Fig. 5.91. Modul de ascuţire a sculelor de decupare a materialelor nemetalice: *a* — la decupare; *b* — la perforare prin străpungere.



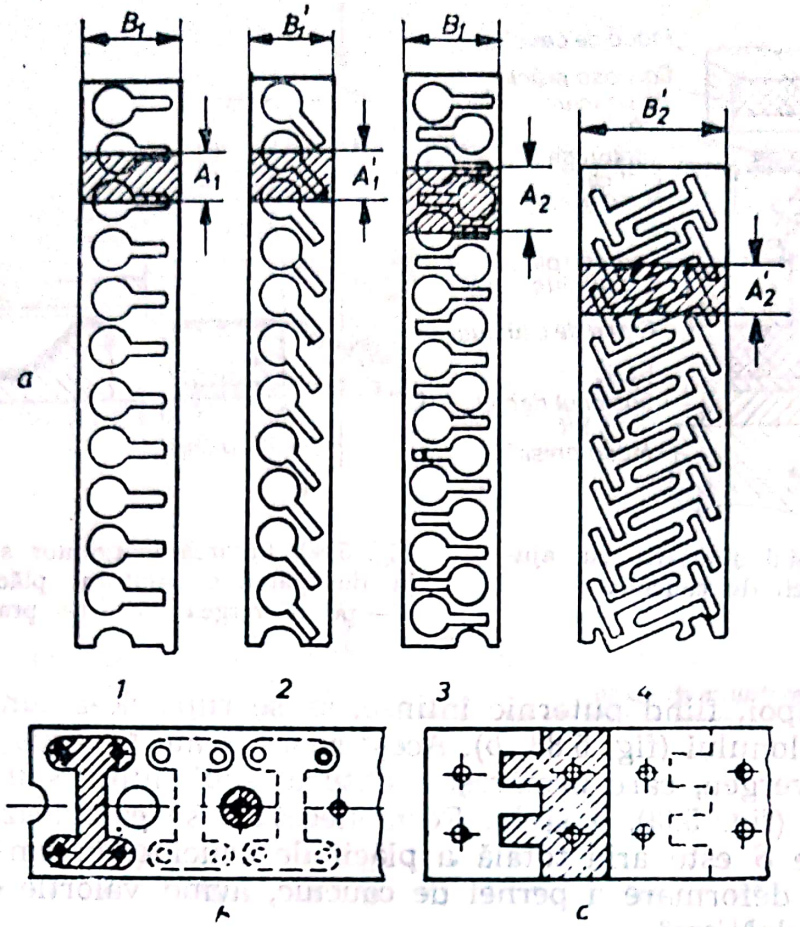


Fig. 5.92. Exemple de croire a materialului în vederea ştanţării: *a* — posibilităţi de îmbunătăţire a coeficientului de utilizare a materialului; *1* — croire dreaptă; *2* — aşezarea înclinată ($B_1' < B_1$) asigură o economie de 18%; *3* — aşezarea alternantă ($B_1 = B$; $A_2/2 < A_1$) asigură o economie de 35%; *4* — aşezarea raţională la ştanţarea unor piese în formă de T; *b* — utilizarea deşeului pentru ştanţarea unui reper suplimentar; *c* — ştanţarea unor elemente pentru balamale, cu coeficientul de utilizare apropiat de 100% (fără puntiţe).

5.7.3.2. **Croirea corectă a materialului.** Fabricaţia prin ştanţare fiind, de obicei, de serie foarte mare sau chiar de masă, economia de material se pune în mod pregnant. Folosirea raţională a materialului se poate aprecia prin *coeficientul de utilizare a materialului* η, exprimat prin raportul dintre suprafaţa utilă a piesei S_p şi suprafaţa consumată din bandă $S = A \cdot B$: $\eta = (S_p/S)\ 100$ [%], unde B este lăţimea benzii, iar A este pasul ştanţării. Coeficientul de utilizare al materialului depinde de modul de croire al materialului (poziţia pieselor pe bandă). Uneori, pentru îmbunătăţirea coeficientului de utilizare, se poate modifica şi forma piesei într-una mai tehnologică, fără a-i afecta însă funcţionalitatea şi rezistenţa. În figura 5.92 se dau cîteva exemple comparative de croire mai raţională a materialului.

5.7.4. Prelucrarea tablelor prin ambutisare

Ambutisarea este operaţia de deformare plastică ce constă din modificarea unui semifabricat plan (tablă), într-o piesă cavă, sau adîncirea în continuare a unui semifabricat cav, cu sau fără modificarea intenţionată a

Scanned with OKEN Scanner

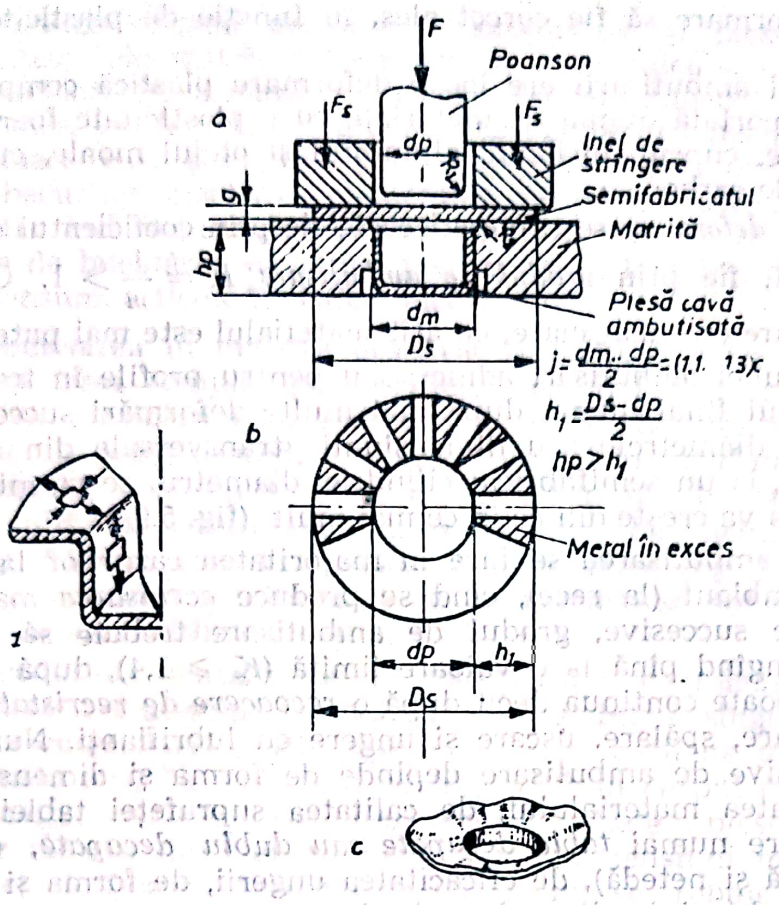


Fig. 5.93. Principiul ambutisării: *a* — matriță de ambutisare cu inel de strîngere a semifabricatului; *b* — posibilitatea realizării unui vas cilindric cu înălțimea h_1 prin îndepărtarea unor bucăți triunghiulare de tablă și îndoirea în sus a fîșiilor astfel formate; *c* — formarea cutelor la ambutisarea în special a tablelor subțiri, fără inel de strîngere; *d* — stările de tensiuni în diferitele zone ale semifabricatului în timpul ambutisării.

grosimii pereților. Principiul ambutisării este dat în figura 5.93. Semifabricatul inițial, în formă de disc (pentru piese cave care sînt corpuri de revoluție), fiind așezat deasupra *matriței*, este apăsat de un *poanson* pînă cînd tabla, prin deformare, va lua forma dorită a piesei cave, care va trece sau nu va trece complet prin orificiul matriței. În timpul trecerii de la forma plană la cea cavă, apar tensiuni diferențiate, care duc la deformarea și la modificarea structurii inițiale, a materialului. Astfel, în zona plană de trecere, apar concomitent tensiuni de întindere și de compresiune (fig. 5.93, *d*). Tensiunile puternice de compresiune (ca urmare a unor excese aparente de metal, triunghiurile hașurate din fig. 5.93, *b*), pot determina, atunci cînd $D_s - d_p > 18\ g$, apariția *cutelor*, iar cele de întindere din zona cilindrică, modificarea grosimii materialului. Aplicarea unui inel de strîngere bine lubrifiat, acționat separat de poanson, duce la evitarea formării cutelor.

Pentru ca materialul să nu se rupă în timpul ambutisării trebuie ca muchiile active ale poansonului și matriței să fie rotunjite cu raze de racordare $R_1 = R_2 = (5 \ldots 10)\ g$, suprafețele active a sculei să fie perfect lustruite, între poanson și matriță să existe un joc $j = (1{,}1 \ldots 1{,}3)\ g$, iar gra-

dul de deformare să fie corect ales, în funcție de plasticitatea materialului.

În timpul ambutisării are loc o deformare plastică complexă, care va putea fi suportată numai de materiale cu o plasticitate foarte bună, cum sînt alamele, cuprul, nichelul, aluminiul și oțelul moale, cu conținut cît mai redus de carbon.

Gradul de deformare se caracterizează, fie prin coeficientul de ambutisare $m = \frac{d_m}{D_S} < 1$, fie prin *gradul de ambutisare* $K = \frac{1}{m} > 1$. Cu cît gradul de ambutisare este mai mare, cu atît materialul este mai puternic solicitat.

În cazul unei ambutisări adînci, sau pentru profile în trepte, se poate atinge stadiul final numai după mai multe deformări succesive în scule diferite, cu diametrele sau dimensiunile transversale din ce în ce mai mici. Astfel, la un semifabricat cilindric, diametrul se va micșora treptat, iar înălțimea va crește din ce în ce mai mult (fig. 5.94).

Deoarece ambutisarea se face în majoritatea cazurilor la temperatura mediului ambiant (la rece), cînd se produce *ecruisarea* materialului, la ambutisările succesive, gradul de ambutisare trebuie să se micșoreze treptat, ajungînd pînă la o valoare limită ($K \geqslant 1{,}4$), după care procesul nu se mai poate continua decît după o *recoacere de recristalizare,* urmată de o decapare, spălare, uscare și ungere cu lubrifianți. Numărul operațiilor succesive de ambutisare depinde de forma și dimensiunile piesei, de plasticitatea materialului, de calitatea suprafeței tablei (se folosesc la ambutisare numai *table decapate sau dublu decapate,* cu suprafață foarte curată și netedă), de eficacitatea ungerii, de forma și calitatea suprafeței sculelor și de viteza de ambutisare.

În vederea micșorării frecărilor, a forțelor de ambutisare necesare, a consumului de energie și a uzurii sculelor, asigurîndu-se totodată și o calitate mai bună a suprafețelor produselor ambutisate, este foarte important să se asigure *o ungere bună* și eficientă a tablelor și a sculelor. Ca lubrifiant se poate folosi: ulei de rapiță, uleiuri minerale, uleiuri activate cu pulbere coloidală de grafit sau, și mai bine, de bisulfură de molibden, diferite emulsii etc.

Ambutisarea la cald se face numai în cazul tablelor groase (pentru table de oțel la $g > 6$ mm) sau în cazul utilizării unor materiale sensibile la deformare plastică (magneziul, tabla obișnuită de oțel etc.). La temperaturi ridicate, gradul de ambutisare poate fi ales mult mai mare și se menține constant la ambutisările succesive.

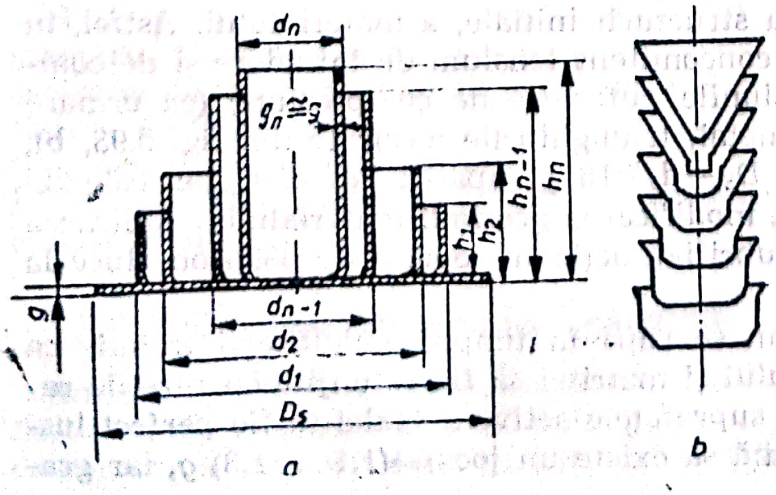


Fig. 5.94. Fazele ambutisării unor piese cave în matrițe deschise, fără subțierea controlată a pereților: *a* — un vas cilindric; *b* — un vas conic.

Scanned with OKEN Scanner

Dintre varietatea extrem de mare a produselor și pieselor ambutisate se amintesc: elementele caroseriilor de autovehicule, a fuzelajului avioanelor, tractoarelor, mașinilor agricole, diferite capace, scuturi, bidoane, rezervoare, cutii, uși, apărătoare, scuturi pentru mașini electrice și transformatoare, cutii și capsule pentru aparate și componente electronice, duliile becurilor electrice, elementele farurilor, lustrelor, vase și ambalaje pentru industria alimentară și chimică, căni de lapte, cutii de conserve, vase de bucătărie, armături pentru uși și ferestre, diferite produse de larg consum, articole turistice, jucării etc.

5.7.4.1. **Ambutisarea în matrițe deschise și închise.** Atunci cînd produsul deformat trece complet prin orificiul matriței și se extrage prin partea opusă ei, considerăm că ambutisarea se produce în matrițe deschise (fig. 5.93, *a*). Acest procedeu se aplică numai în *cazul ambutisărilor adînci*, de obicei în mai multe treceri (fig. 5.94), sau în cazul cînd se urmărește și subțierea controlată a grosimii pereților, printr-o singură deformare (fig. 5.95, *a*) sau două subțieri consecutive (fig. 5.95, *b*). Din legea volumului constant rezultă că la acest procedeu se pot realiza creșteri considerabile ale înălțimii pereților.

În cazul produselor ambutisate de configurație complexă și puțin adînci se preferă ambutisarea în *matrițe închise*, într-o singură operație (elemente de caroserie auto, uși, capace, bidoane, cutii de toate dimensiunile și formele etc.) În aceste cazuri (fig. 5.96) în corpul matriței este practicată o cavitate care este negativul formei spațiale a piesei, iar poansonul nu este altceva decît contrapiesa, avînd dimensiuni micșorate cu grosimea tablei. Sculele de ambutisare mai complexe trebuie să fie prevăzute cu sisteme de extracție și de evacuare a aerului, respectiv a lubrifiantului eventual în exces.

5.7.4.2. **Alte procedee de ambutisare.** Pe lîngă metalele amintite se utilizează și alte procedee de ambutisare mai simple.

Ambutisarea pe strung (fig. 5.97) este o metodă simplificată de ambutisare, aplicată pentru obținerea pieselor cu formă de revoluție, din table subțiri de oțel (cu grosime maximă de 1,5 mm) și de aliaje neferoase (cu grosimi pînă la 2 mm). Adecvată atît fabricației de serie mică cît și mare, ambutisarea pe strung poate începe de la un disc de tablă (fig. 5.97, *a* și *b*), fixat pe un șablon prin strîngere cu șurub sau apăsare cu păpușa

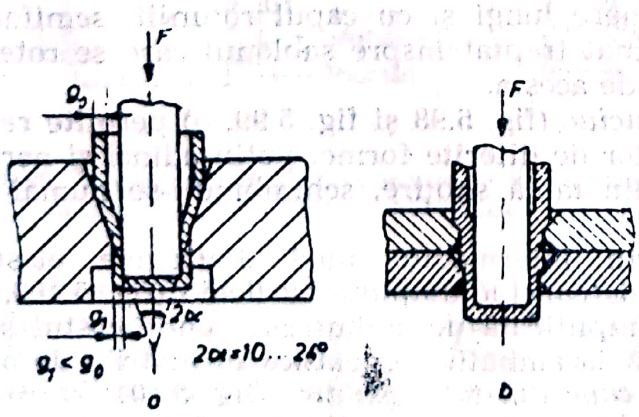


Fig. 5.95. Ambutisarea în matrițe deschise cu subțierea controlată a grosimii pereților: *a* — într-o singură operație; *b* — în două operații succesive în același dispozitiv.

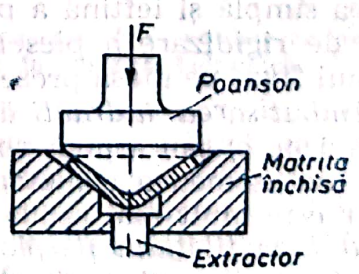


Fig. 5.96. Schema unei matrițe închise pentru ambutisare, cu extractor.

Scanned with OKEN Scanner

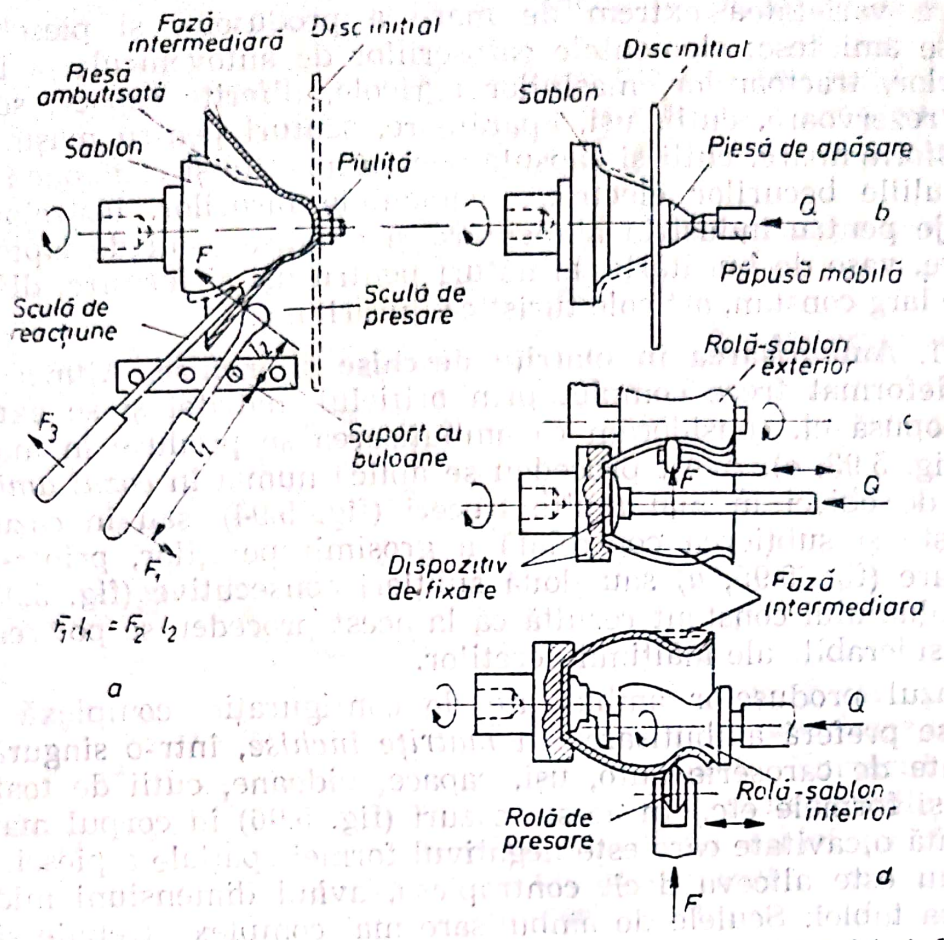


Fig. 5.97. Ambutisarea pe strung: *a* — evitarea formării cutelor folosind o sculă de reacțiune; *b* — modul de fixare a semifabricatului prin strîngere cu o piesă de apăsare; *c* — ambutisarea finală a unei piese cu conicitate inversă, folosind o rolă-șablon exterior; *d* — gîtuirea unei piese ambutisate în prealabil la o formă asemănătoare, folosind o rolă-șablon interior.

mobilă a strungului, sau de la un semifabricat cilindric, realizat în prealabil tot prin ambutisare (fig. 5.97, *c* și *d*).

În primul caz pot fi fabricate numai piese care nu au o *conicitate negativă* sau gîturi și îngustări, care ar împiedica scoaterea produsului de pe șablon. În al doilea caz nu mai există această restricție. Cu ajutorul unor scule de presare, cu mînere lungi și cu capul rotunjit, semifabricatul bine lubrifiat este deformat treptat înspre șablonul care se rotește, preluînd în final forma dictată de acesta.

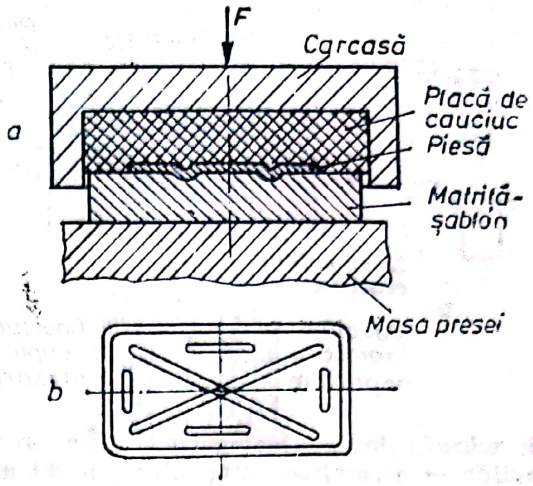
Ambutisarea cu placă de cauciuc (fig. 5.98 și fig. 5.99, *a*) permite realizarea simplă și ieftină a pieselor de diferite forme, puțin adînci și nervurile de rigidizare a pieselor din tablă subțire, schimbîndu-se numai șablonul fixat pe masa presei.

Ambutisarea hidraulică, prin intermediul unei diafragme elastice (fig. 5.99, *c*) sau a unei perne de cauciuc umplută cu lichid (fig. 5.100, *a*), este de asemenea o metodă simplificată de ambutisare, unde costul sculelor este mult mai redus decît la ambutisarea clasică în matrițe de oțel.

Rularea filetului pe piesele cave din tablă subțire (fig. 5.101) se realizează cu ajutorul unui șablon filetat și a unor role de apăsare. Ca exemplu, prin metoda rulării se execută filetele Edison ale soclurilor de la becurile și siguranțele electrice și alte piese fabricate pentru industria electrotehnică și electronică.

Scanned with OKEN Scanner

Fig. 5.98. Nervurare prin ambutisare cu placă de cauciuc; *a* — procesul de nervurare; *b* — piesă ușoară din tablă subțire, rigidizată prin nervuri ambutisate cu placă de cauciuc.



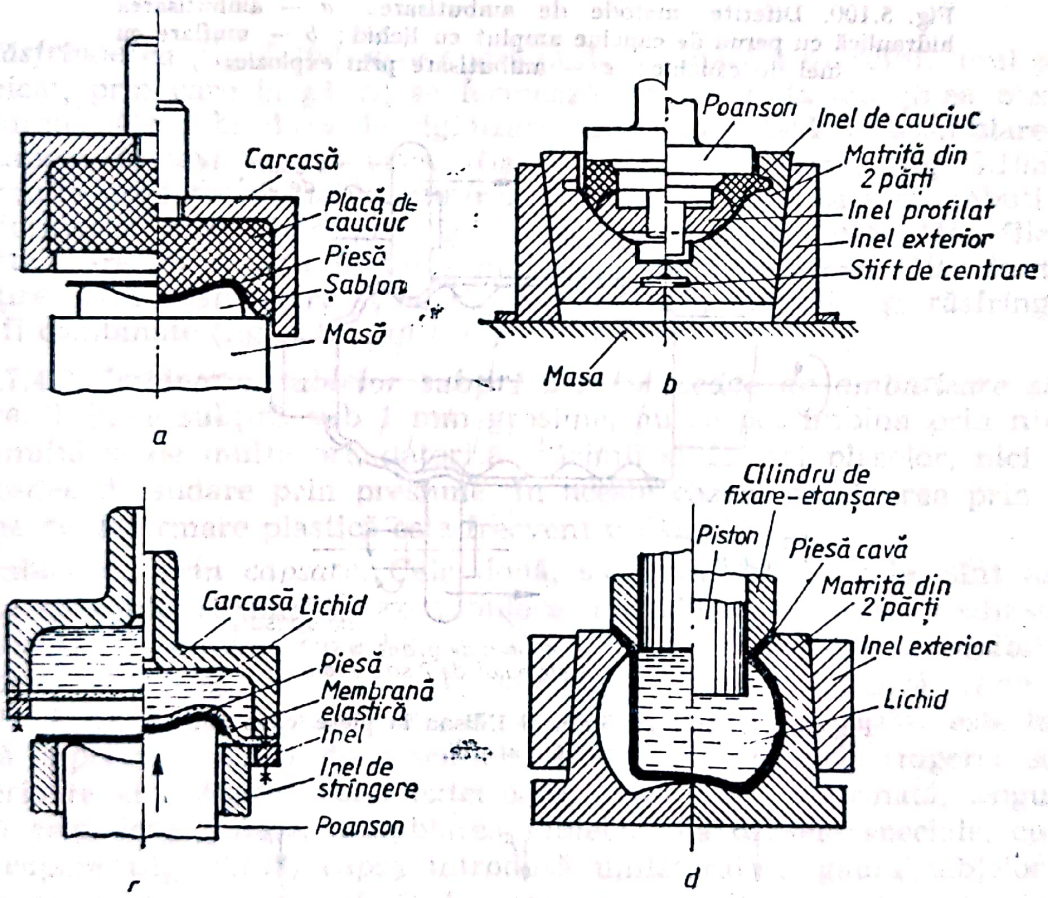


Fig. 5.99. Diferite metode de ambutisare: *a* — cu placă de cauciuc; *b* — umflare cu inel de cauciuc; *c* — ambutisare hidraulică; *d* — umflare în matriță hidraulică.

Gîtuirea și fasonarea prin turtire (fig. 5.102) urmărește schimbarea secțiunii transversale a unui produs ambutisat, inițial cilindric, fie prin lărgirea părții superioare *(răsfrîngere)*, fie prin îngustarea *(gîtuirea)* părții superioare, fie mărirea diametrului în partea mijlocie *(lărgire)*. Astfel de operații, în special de lărgire, se pot efectua și cu alte mijloace, ca de exemplu: pe strung (fig. 5.97, *c* și *d*), prin ambutisare hidraulică (fig. 5.99, *d*), prin folosirea unui inel de cauciuc (fig. 5.100, *b* și fig. 5.99, *b*) etc.

Scanned with OKEN Scanner

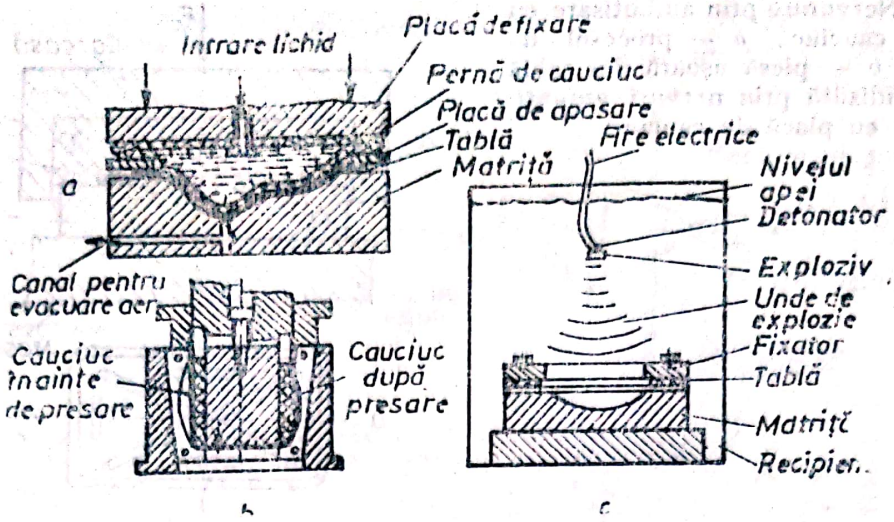


Fig. 5.100. Diferite metode de ambutisare: *a* — ambutisarea hidraulică cu pernă de cauciuc umplut cu lichid; *b* — umflare cu inel de cauciuc; *c* — ambutisare prin explozie.

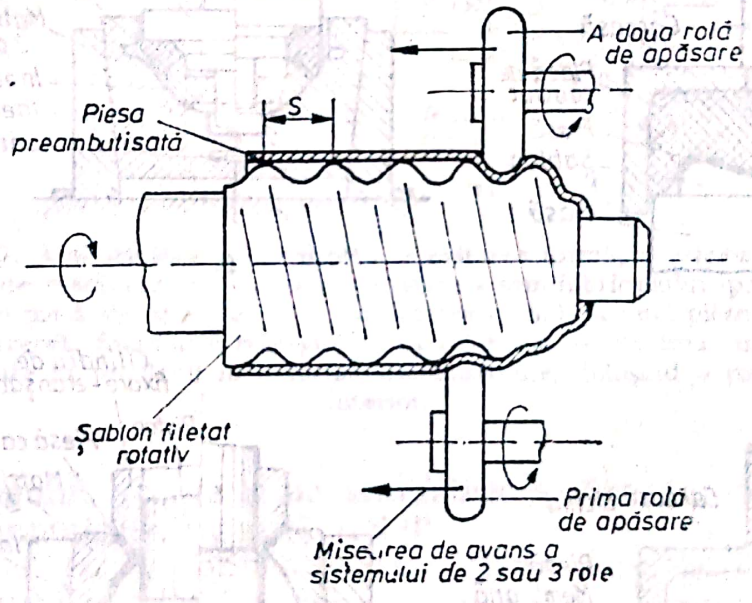


Fig. 5.101. Rularea filetului Edison la piese cave din tablă subțire.

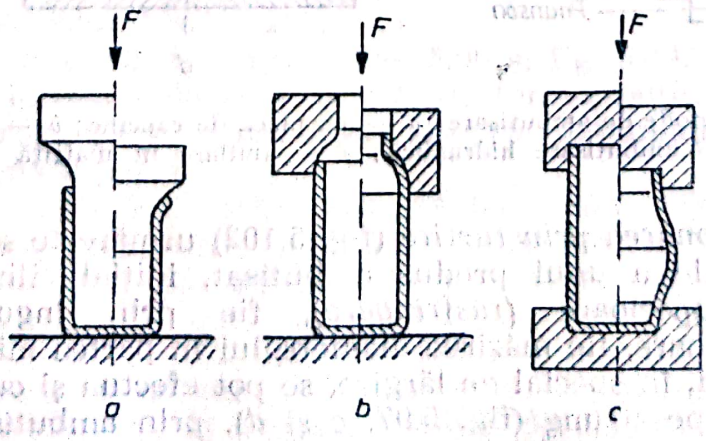


Fig. 5.102. Fasonare prin turtire: *a* — răsfrîngere; *b* — gîtuire; *c* — lărgire.

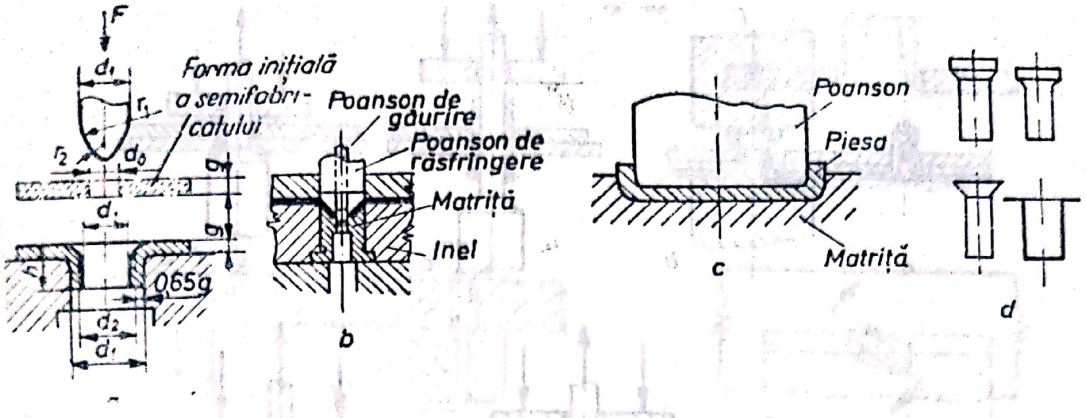


Fig. 5.103. Exemple pentru operații de răsfrîngere: *a* — răsfrîngerea marginii găurilor cilindrice (sau necilindrice); *b* — răsfrîngerea combinată cu găurire prin ștanțare; *c* — obținerea unei reborduri de rigidizare prin răsfrîngere; *d* — diferite flanșe realizate la capete de țevi.

Răsfrîngerea (fig. 5.103) este operația de fasonare a marginii unui semifabricat, prin care la găuri, se formează un guler, la marginea pieselor se formează o rebordură de rigidizare sau o suprafață de asamblare, iar la capete de țevi se pot forma flanșe de diferite forme (fig. 5.103, *d*). La multe produse din tablă subțire, obținute prin ștanțare și ambutisare, se formează prin răsfrîngere gîtul cu scopul de a putea tăia filet în acesta, care va rezista la forțe mult mai mari decît cel tăiat în tabla subțire, fără răsfrîngere. Uneori găurirea prin ștanțare și răsfrîngerea pot fi combinate (fig. 5.103, *b*).

5.7.4.3. *Îmbinarea tablelor subțiri prin procedee de ambutisare și îndoire.* Tablele subțiri, sub 1 mm grosime, nu se pot îmbina prin nituire obișnuită și de multe ori, datorită mărimii și formei pieselor, nici prin procedee de sudare prin presiune. În aceste cazuri, îmbinarea prin procedee de deformare plastică este frecvent utilizată.

Îmbinarea prin capsare. Cele două, sau mai multe table, sînt asamblate cu ajutorul unor capse tubulare, introduse în găurile realizate în prealabil. Se disting cazurile în care accesul cu scule este posibil din ambele părți (fig. 5.104, *a*...*e*) sau numai dintr-o singură parte (fig. 5.104, *f*, *g*). În acest ultim caz, capsa cu un profil particular este introdusă împreună cu cele două scule în orificiu și apoi, prin tragerea sculei interioare și apăsarea celei exterioare, capsa este deformată, asigurînd prin cele două gulere, asamblarea tablelor. La capsele speciale, cu cui de rupere (fig. 5.105) capsa introdusă unilateral în gaura tablelor (de exemplu la o cutie închisă, fără acces corespunzător în interior) este deformată prin tragerea cuiului pînă la ruperea acestuia, folosind un pistol de capsare.

Îmbinarea prin îndoire. Asamblarea prin îndoire este mai puțin sigură și rezistentă decît cea prin capsare, dar uneori este comodă, deoarece permite un număr oarecare (mic) de demontări și remontări. Prin cîteva exemple se demonstrează multiplele posibilități de asamblare prin această metodă. Piesele pregătite înainte prin ștanțare sau ambutisare, sînt apoi asamblate prin îndoirea unor elemente lăsate anume în acest scop, fie în jurul celeilalte piese (fig. 5.106, *a* și *b*), fie după introducerea lor în orificiile de asamblare (fig. 5.106, *c* și *d*).

Scanned with OKEN Scanner

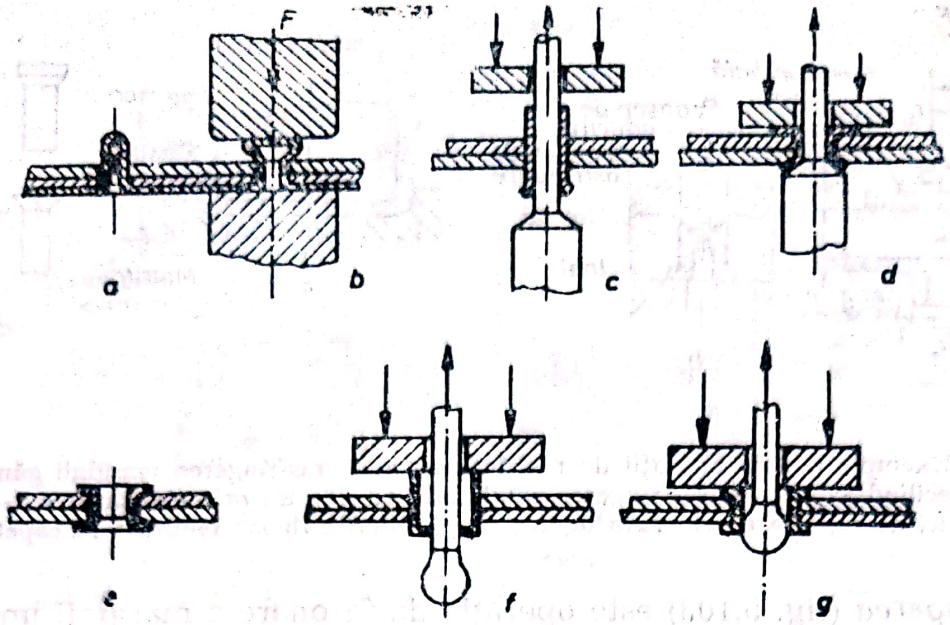


Fig. 5.104. Îmbinarea tablelor subțiri prin capsare: *a* ... *e* — cu acces bilateral; *a* și *b* — capse ambutisate dintr-o tablă subțire și închise prin presare; *c* ... *e* — capsare cu două scule și capsă tubulară; *f* și *g* — capsare cu acces unilateral.

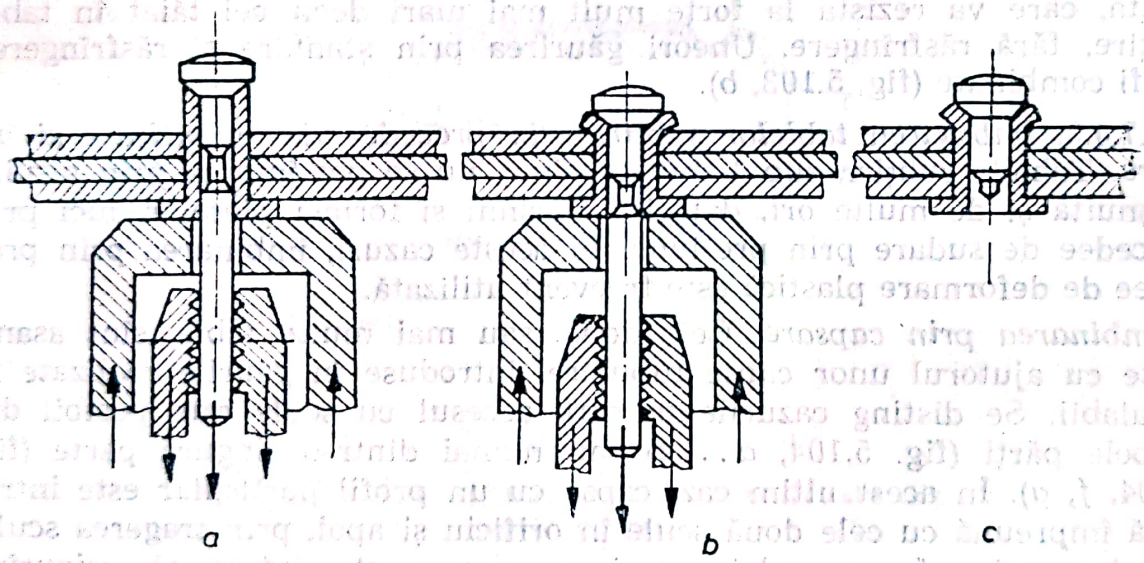


Fig. 5.105. Îmbinarea tablelor cu acces unilateral, cu capse speciale: *a* — introducerea capsei și prinderea cuiului cu fălcile pistolului de capsare; *b* — formarea capului la capsă prin tragerea cuiului pînă la ruperea acestuia; *c* — forma finală a capsei.

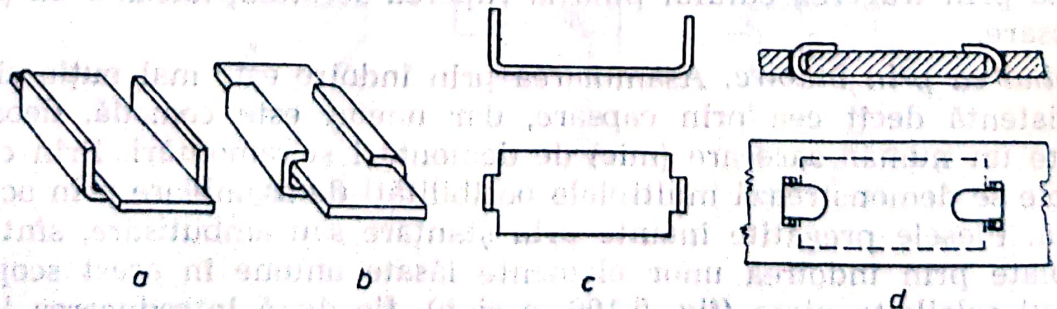


Fig. 5.106. Îmbinarea tablelor subțiri prin îndoire.

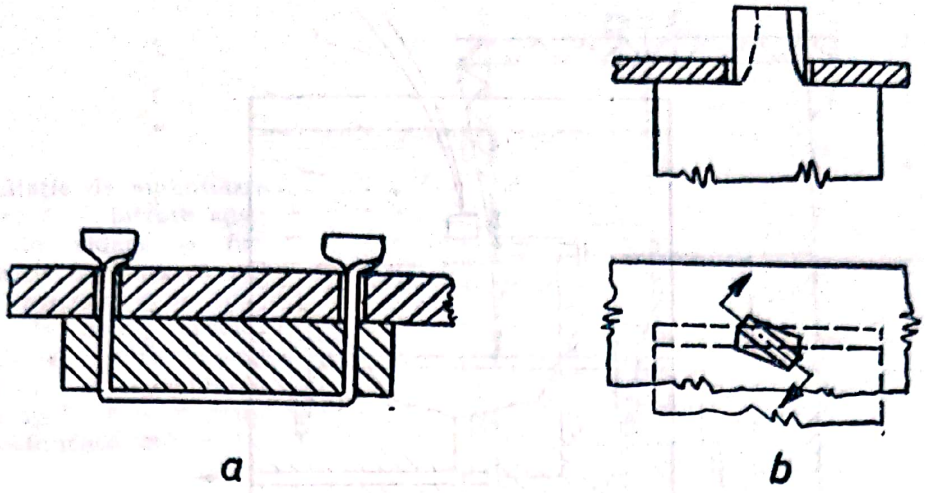


Fig. 5.107. Îmbinarea tablelor subțiri prin răsucire: *a* — îmbinarea a două table; *b* — realizarea unei îmbinări în T.

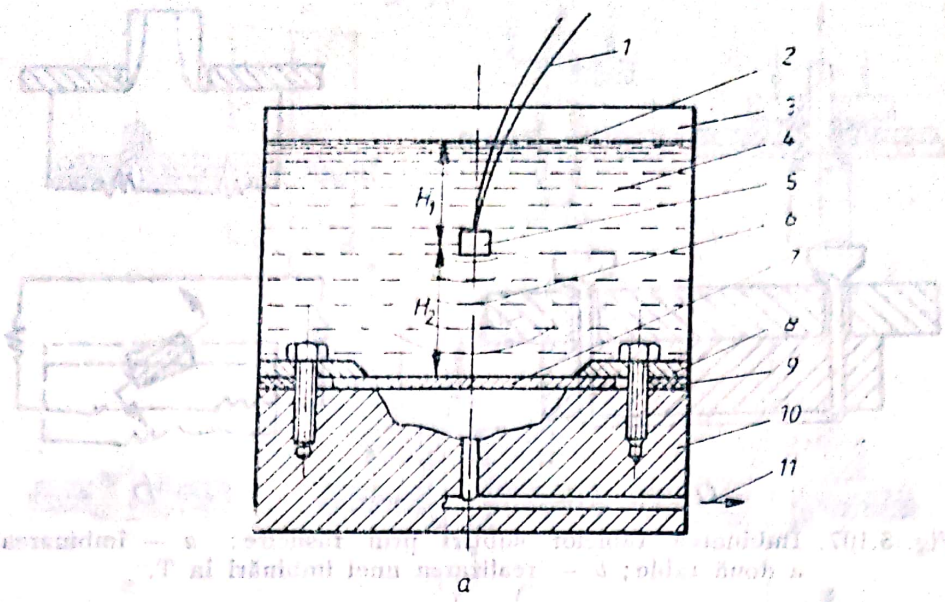
Îmbinarea prin răsucire (fig. 5.107, *a* și *b*) se aseamănă cu varianta din figura 5.106, *d*, doar că elementele de îmbinare introduse în orificiile de asamblare nu se îndoiesc, ci se răsucesc, asigurînd astfel împreunarea celor două piese.

5.7.5. Tehnologii moderne pentru prelucrarea tablelor

În această categorie intră metodele care utilizează acțiunea unor sarcini de tipul celor produse prin explozie, cu puteri și viteze mari, energia mecanică fiind dată de: explozivi violenți sau lenți; amestecuri carburante de gaze; gaze lichefiate sau aflate sub presiuni înalte; descărcări electrice în lichide; cîmpuri magnetice puternice, de scurtă durată.

Semifabricatele din tablă se pot astfel tăia, perfora sau ambutisa cu instalații simple care reduc costul de producție. Se mai poate face evazarea și gîtuirea tuburilor, gravarea și chiar forjarea, matrițarea sau extrudarea unor piese. De asemenea, se pot îndoi bare sau tuburi, se pot executa diferite presări de pulberi, așchii etc.

5.7.5.1. **Deformarea tablelor cu explozivi brizanți** se aplică pentru ambutisarea, nervurarea sau fasonarea tablelor și evazarea tuburilor cu puteri și viteze foarte mari. Unda de șoc a exploziei deformează tabla sau țeava spre matriță, luînd forma ei (fig. 5.108). Presiunea de deformare poate atinge $2 \cdot 10^6$ N/cm^2, iar viteza de deformare depășește pe cea a sunetului. Semifabricatul poate avea grosimi pînă la 20 mm. Mediul de lucru cel mai bun s-a dovedit a fi apa, pentru că transmite, mai bine ca aerul, energia exploziei spre tablă (cu un randament de 10 . . . 30%). În apă se scufundă matrița montată (fig. 5.109 și fig. 5.100, *c*) și explozivul, împreună cu furtunul de vidare și firele electrice pentru declanșarea exploziei. Această *stație de ambutisare prin explozie* este amplasată la o distanță mai mare de zonele locuite, unde se pot respecta bine măsurile de tehnica securității legate de depozitarea și utilizarea materialelor explozive și zgomotul exploziilor nu deranjează oamenii. Solicitarea bazinului de beton armat poate fi mult redusă, dacă lîngă pereți se creează o perdea de bule de aer. După explozie, matrița se scoate cu macaraua și se demontează. De aici rezultă durata destul de mare a unui ciclu (de



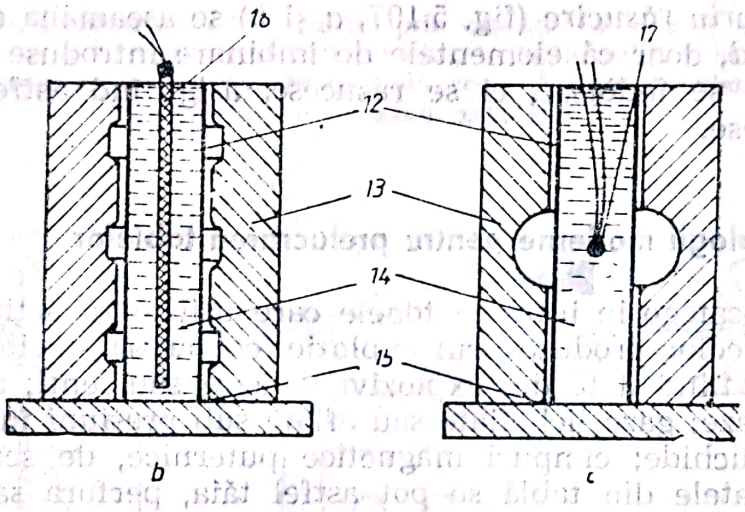


Fig. 5.108. Ambutisarea cu explozivi brizanți: *a* — ambutisarea unui semifabricat în formă de disc; *1* — fire electrice; *2* — nivelul apei; *3* — recipient; *4* — apă; *5* — exploziv; *6* — unde de explozie; *7* — tabla de deformat; *8* — fixator; *9* — inel de distanțare; *10* — matriță; *11* — vidare; *b* — umflarea țevii cu unde cilindrice; *c* — umflarea țevii cu unde sferice; *12* — semifabricat tubular; *13* — matriță demontabilă; *14* — apă; *15* — etanșare pentru apă; *16* — încărcătură explozivă liniară; *17* — încărcătură punctiformă.

20 . . . 30 minute), ceea ce, la ambutisarea la rece în matrițe de oțel, ar fi de numai 1 . . . 2 minute.

Matrițele, în acest caz, pot fi executate din materiale ieftine (beton, fontă, oțel moale). Metoda se aplică, de obicei, la ambutisarea pieselor mari, fabricate în serii foarte mici sau ca unicate. Ca un exemplu frecvent întîlnit se amintesc fundurile bombate ale cazanelor și recipientelor mari, cu diametrul mergînd pînă la 3 . . . 4 m.

5.7.5.2. **Deformarea tablelor cu amestecuri carburante de gaze.** Amestecurile carburante sînt mai ușor de procurat și mai ieftine. Arderea lor se face numai într-un spațiu închis, deci instalația este mai soumpă și servește la fabricarea pieselor de mărime medie. Și aici acțiunea directă

Scanned with OKEN Scanner

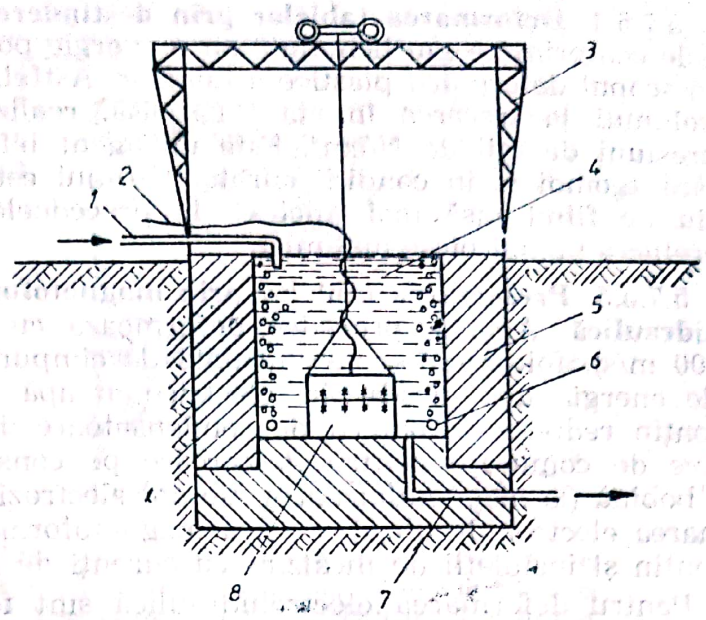


Fig. 5.109. Stație de ambutisare prin explozie: *1* — intrare apă; *2* — furtun de vidare și fire electrice pentru declanșarea exploziei; *3* — macara; *4* — apă; *5* — bazin de beton armat; *6* — țeavă inelară pentru crearea perdelei de bule; *7* — conductă de evacuarea apei; *8* — matrița montată, scufundată sub apă.

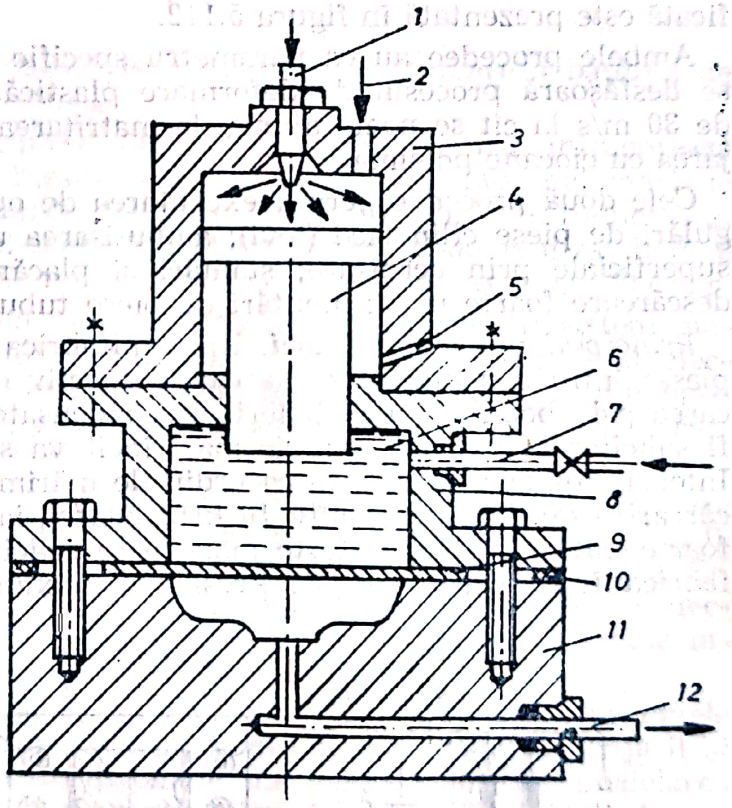


Fig. 5.110. Ambutisare cu amestecuri carburante de gaze: *1* — bujie; *2* — intrare amestec exploziv; *3* — cilindru; *4* — piston intermediar; *5* — orificiu pentru ieșirea aerului; *6* — lichid; *7* — conductă de introducere a lichidului; *8* — corp de legătură; *9* — tabla de deformat; *10* — inel de distanțare; *11* — matriță; *12* — conductă de vidare.

se face prin lichid sau prin piston și lichid (fig. 5.110). Se pot folosi amestecuri de: acetilenă + oxigen; metan + oxigen; propan + oxigen.

5.7.5.3. **Deformarea tablelor cu pulberi explozive.** La acest procedeu energia degajată de explozie este folosită cu un randament mai bun, dar presiunile și vitezele au valori mai mici. Explozia acționează asupra tablei, de obicei prin intermediul unui piston și lichid, instalația avînd un principiu asemănător cu cel prezentat în figura 5.110, dar aici în locul bujiei *1* se înșurubează capsula cu pulbere explozivă.

Scanned with OKEN Scanner

5.7.5.4. **Deformarea tablelor prin destinderea gazelor comprimate.** Gazele comprimate sau lichefiate au o energie potențială care se poate folosi în scopul deformării plastice a tablelor. Astfel, azotul lichefiat își mărește volumul la trecerea în stare gazoasă, realizînd într-o cameră închisă presiuni de mii de N/cm². Este un agent ieftin și nepericulos, lucrează fără zgomot și în condiții curate. Utilajul este simplu și economic, presiunile fiind însă mai mici ca la procedeele anterioare. Astfel se pot prelucra numai piese mai mici.

5.7.5.5. **Prelucrarea tablelor prin magnetoformare și deformare electrohidraulică.** Ambele procedee deformează cu viteze foarte mari (circa 100 m/s), folosind fie energia dată de cîmpurile magnetice sau electrice, fie energia unei descărcări electrice în apă. Instalațiile electrodinamice conțin redresoare, baterii de condensatoare de mare capacitate, dispozitive de comutare pentru descărcare pe consumator, care aici este, fie o bobină (la magnetoformare), fie doi electrozi cufundați în apă (la deformarea electrohidraulică). Pentru magnetoformare, schemele mai moderne conțin și instalații de încălzire cu curenți de înaltă frecvență (fig. 5.111).

Pentru deformarea electrohidraulică sînt folosite mai multe variante de scheme care conțin echipamente electrice similare. O schemă simplificată este prezentată în figura 5.112.

Ambele procedee au ca parametru specific viteza foarte mare cu care se desfășoară procesul de deformare plastică, între 60 ... 150 m/s, față de 30 m/s la cît se poate ajunge la matrițarea rapidă, sau 10 m/s la forjarea cu ciocane pneumatice.

Cele două procedee permit executarea de operații ca: umflări și strangulări de piese cilindrice (țevi); ambutisarea unor table plane; durificări superficiale prin ecruisare; ștanțări și placări care necesită energii de descărcare foarte mari; montări de piese tubulare prin presare.

Principiul magnetoformării. Un semifabricat din tablă, cu grosimea g, plasat între o bobină și o matriță, respectiv o piesă fasonată, la descărcarea prin bobină a unei baterii de condensatoare de mare capacitate, va fi solicitat la presiuni atît de mari încît va suferi o deformare plastică. Intensitatea curentului are ca ordin de mărime 100 kA și frecvența descărcării este de aproximativ 10 kHz. Astfel, ia naștere un cîmp magnetic foarte puternic și apar forțe mari, care solicită atît bobina, cît și semifabricatul cu pereți subțiri. Presiunea maximă realizabilă este de circa

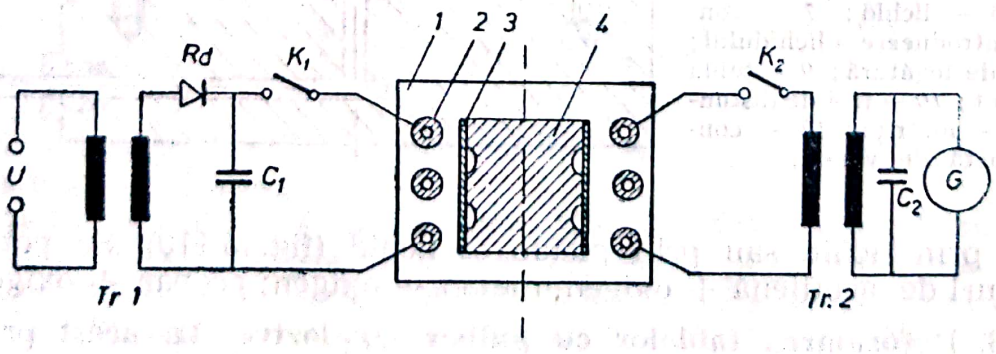


Fig. 5.111. Schema instalației pentru magnetoformare: Tr_1 — transformator de alimentare; Rd — redresor; C_1 — baterie de condensatoare; K_1 și K_2 — contactoare; Tr_2 — transformator de adaptare; C_2 — condensator; G — generator de înaltă frecvență pentru încălzire; 1 — dispozitivul de magnetoformare; 2 — bobină inductoare; 3 — semifabricat tubular din tablă; 4 — piesă cu care se va îmbina semifabricatul tubular.

Scanned with OKEN Scanner

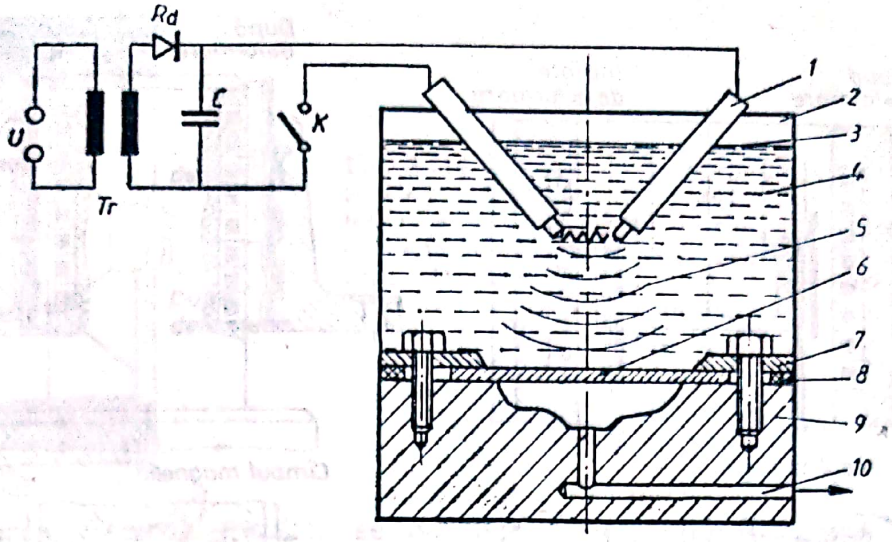


Fig. 5.112. Schema instalației pentru ambutisare electrohidraulică: *1* — învelișul izolator al electrodului; *2* — recipient; *3* — nivelul apei; *4* — apă; *5* — unde de explozie; *6* — tabla de deformat; *7* — fixator; *8* — inel de distanțare; *9* — matriță; *10* — canal de vidare.

3500 . . . 4000 daN/cm², iar durata impulsului de descărcare a bateriei de condensatoare este de 10 . . . 100 μs.

Mărimea și grosimea semifabricatelor ce se prelucrează, influențează mult parametrii de lucru. Piesele mari necesită: densități mai mari de curent în inductor; o rezistență mecanică mai mare a bobinei inductoare; concentratoare de cîmp rezistente la solicitări mari. S-au realizat bobine cu diametrul maxim de 1000 mm, dar mai frecvent de maximum 300 mm.

Pentru a stabili tehnologia magnetoformării trebuie să cunoaștem: natura materialului ce se deformează; unele proprietăți mecanice și electrice ale materialului, ca de exemplu: rezistența la curgere σ_c; adîncimea de pătrundere a cîmpului δ; grosimea materialului g; tensiunea de încărcare a bateriei de condensatoare U.

Bobinele inductoare pot avea, față de semifabricat, trei poziții care influențează tipul bobinei: de exterior, de interior, sau plan (fig. 5.113). Aliajele întrebuințate pentru înfășurările bobinei sînt: Cu + Be, Cu + Cr, Cu + Mo. Aceste materiale trebuie să aibă o bună conductivitate electrică și termică și proprietăți mecanice de rezistență ridicate. Unele inductoare sînt tubulare pentru a fi răcite cu apă.

Pentru a concentra presiunea la locul cerut de piesă, adică în zonele unde trebuie să avem o deformare maximă, se face studiul dirijării și modelării energiei furnizate de instalație. La magnetoformare modelarea cîmpului magnetic se face cu *concentratoare de cîmp* (fig. 5.114). Aceste concentratoare se construiesc pe baza unor relații teoretice, dar trebuie să se țină seama și de rezultatele practice. Ele sînt niște inele despicate, amplasate în bobine. Randamentul magnetoformării este de numai 5 . . . 10%, care la utilizarea concentratoarelor de cîmp scade la 3 . . . 4%.

Concentratoarele de cîmp se fac tot din aliaje de Cu, dar cu proprietăți mecanice și mai bune, pentru că, în afara rolului lor de a concentra liniile de forță, trebuie să mai preia și o parte din solicitările mecanice la care este supus inductorul. Pentru a regla poziția concentratorului față de semifabricat, la unele instalații se prevăd sisteme pneumatice de reglaj.

Scanned with OKEN Scanner

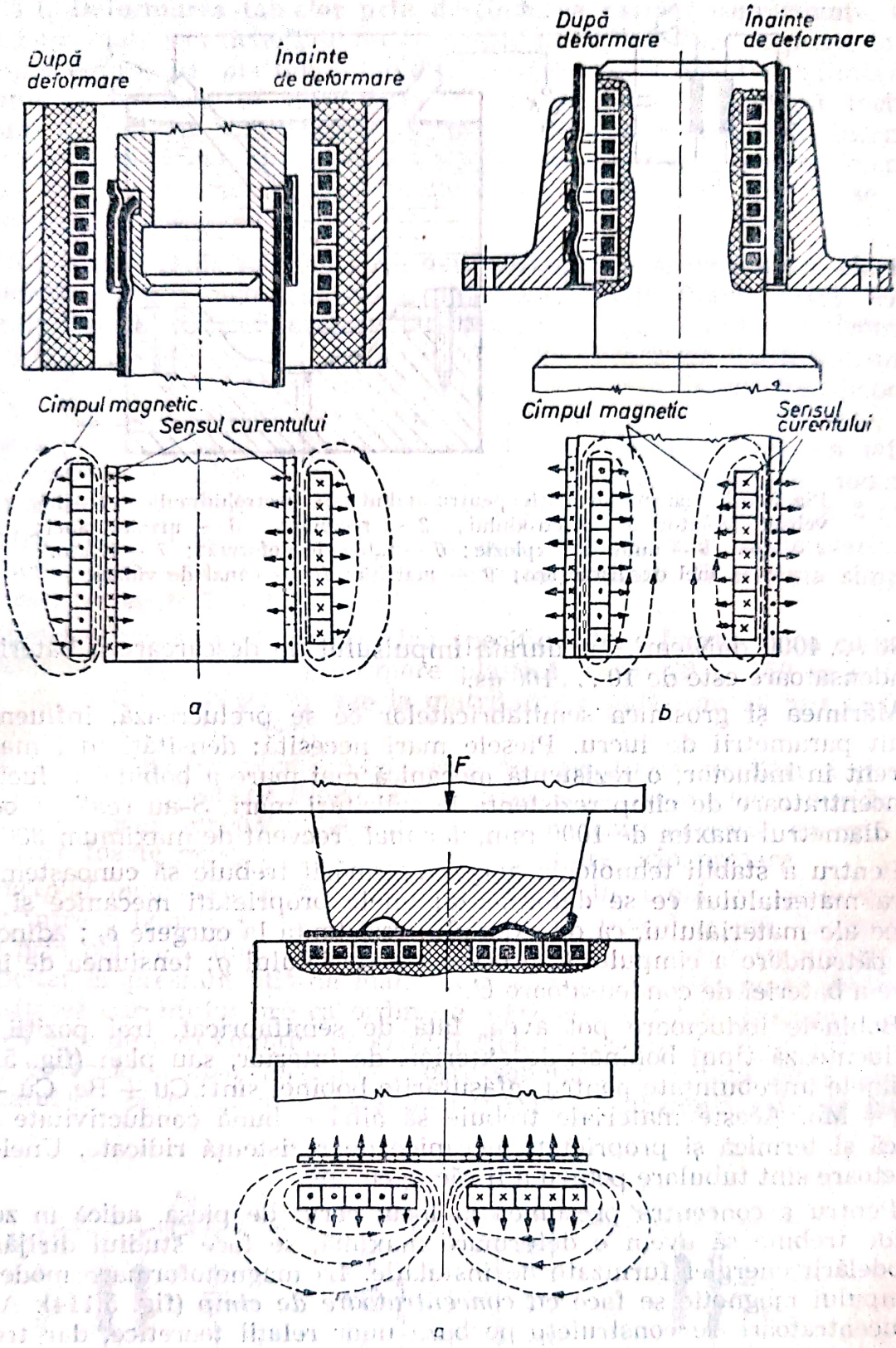


Fig. 5.113. Cele trei variante a bobinelor inductoare la magnetoformare; *a* — bobină exterioară; *b* — bobină interioară; *c* — bobină plană.

Prin magnetoformare se pot rezolva, în producția de serie și de serie mare, numeroase probleme mai dificile de fabricație. Cîteva exemple de realizare a unor îmbinări nedemontabile sînt date în figura 5.113, *a* și *b* și în figura 5.114, iar în figura 5.115 se prezintă modul de realizare a unui montaj între două piese metalice și un izolator de porțelan.

Scanned with OKEN Scanner

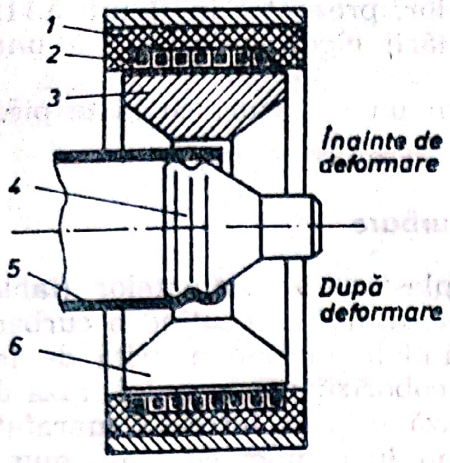


Fig. 5.114. Bobină de comprimare cu concentrator de cîmp: *1* — corp de bobină; *2* — bobina inductoare; *3* — concentrator de cîmp *4* — piesa cu care se va îmbina semifabricatul tubular; *5* — semifabricatul din tablă; *6* — fanta de despicare a concentratorului.

Deformarea electrohidraulică se bazează pe energia furnizată de descărcări electrice în apă între 2 electrozi, cînd apar puternice unde de şoc. Energia mecanică depinde de curentul maxim din timpul descărcării electrice, respectiv de tensiunea de încărcare a bateriei de condensatoare. În acest caz presiunea de deformare p va fi:

$$p = 0{,}86 \frac{U}{LC}, \qquad (5.18)$$

unde: U este tensiunea de descărcare a bateriei; C — capacitatea bateriei; L — inductivitatea scînteii.

La deformarea pe cale electrohidraulică, procesul este influenţat, în cea mai mare măsură, de parametrii instalaţiei. Proprietăţile electromagnetice ale materialelor ce se deformează influenţează numai foarte puţin tehnologia de prelucrare.

Instalaţiile de deformare electrohidraulice au puteri între 1 . . . 100 kJ şi tensiunea de încărcare variază între 5 . . . 20 kV. Capacitatea bateriei de condensatoare este între 10 . . . 1000 μF. Randamentul deformării electrohidraulice variază între 10 . . . 50%.

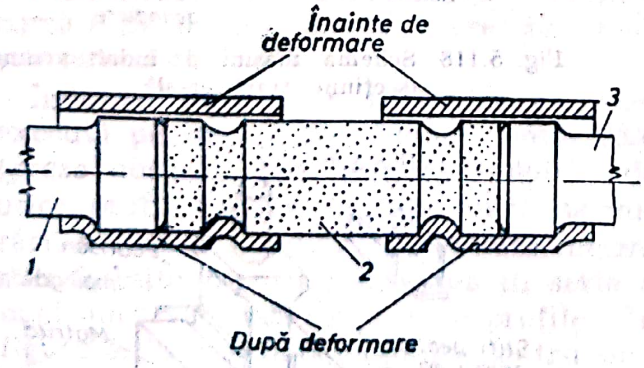


Fig. 5.115. Exemplu de montaj realizat prin magnetoformare: *1* — piesă metalică; *2* — izolator de porţelan; *3* — piesă metalică.

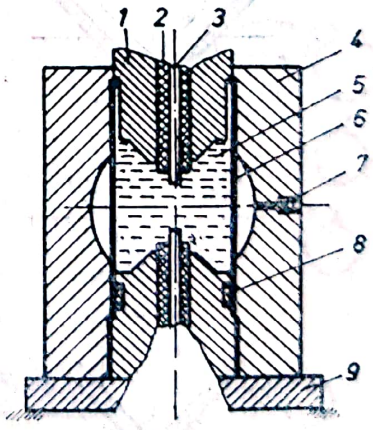


Fig. 5.116. Umflarea unui semifabricat tubular prin ambutisare electrohidraulică: *1* — corp cilindric; *2* — izolator; *3* — electrod; *4* — matriţă demontabilă; *5* — apă; *6* — semifabricat tubular; *7* — canal de vidare; *8* — etanşare; *9* — placă de bază.

Scanned with OKEN Scanner

Pe lîngă exemplul de ambutisare a tablelor, prezentat în figura 5.112, în figura 5.116 este dat principiul deformării electrohidraulice a unui semifabricat tubular.

Dirijarea și modelarea energiei se face în unele cazuri cu niște piese numite reflectoare de unde de șoc.

5.7.6. Prelucrarea tablelor prin îndoire și curbare

Îndoirea este procedeul de deformare plastică a laminatelor (table, benzi) prin care se modifică forma semifabricatului, executînd o curbare a acestuia în jurul axei neutre. Schema îndoirii într-o matriță de îndoire este dată în figura 5.117. Pe măsura coborîrii poansonului, raza de curbură și brațul de încovoiere se micșorează treptat, întreaga suprafață de lucru a poansonului și a matriței venind în contact cu piesa numai spre sfîrșitul cursei, cînd îndoirea se transformă într-o calibrare.

În timpul îndoirii apar și *deformații elastice* care *cauzează o arcuire a piesei* după anularea sarcinii, ceea ce se manifestă printr-o neconcordanță între forma și dimensiunile piesei și cele ale sculelor. Astfel, la dimensionarea sculelor trebuie să se țină seama de unghiul de arcuire, modificînd în mod corespunzător unghiul poansonului și al matriței. Pentru a realiza un unghi de 90°, poansonul va avea un unghi mai mic de 90°.

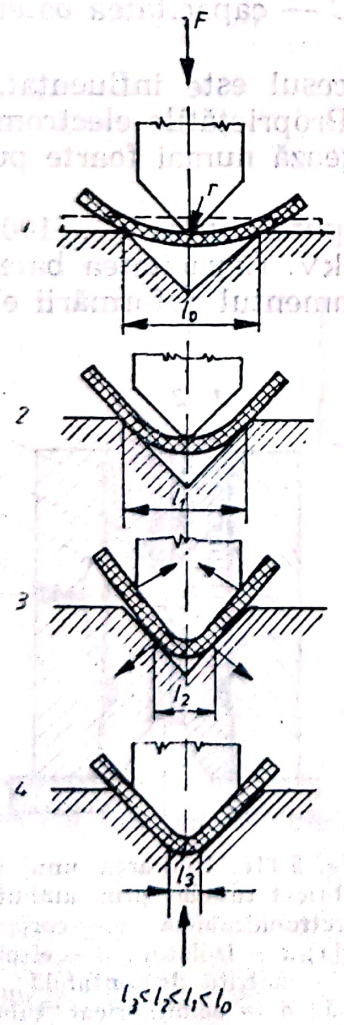


Fig. 5.117. Schema procesului de îndoire.

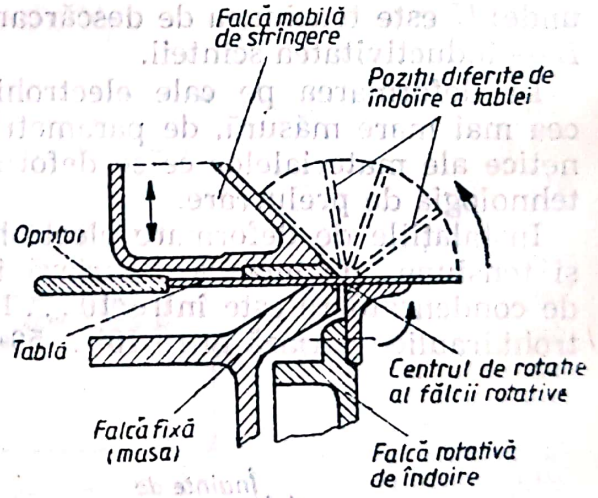


Fig. 5.118. Schema mașinii de îndoit manual (secțiune transversală).

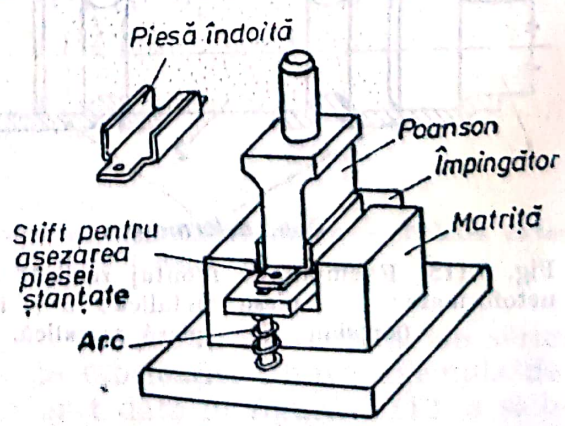


Fig. 5.119. Dispozitiv de îndoire în serie a produselor.

Scanned with OKEN Scanner

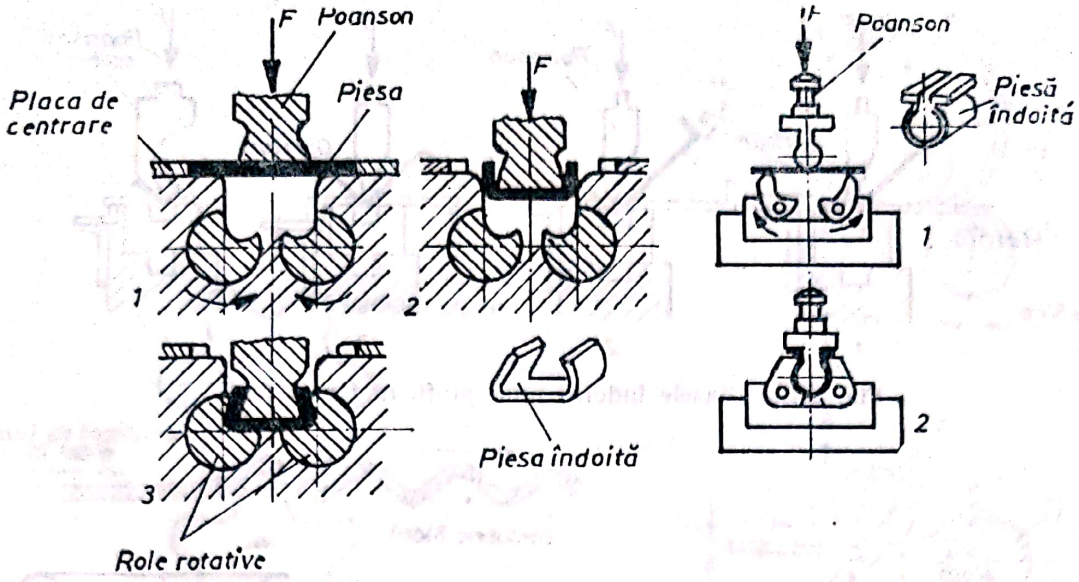


Fig. 5.120. Scheme de funcționare a unor scule complexe de îndoire: *a* — cu role rotative; *b* — cu came oscilante.

Îndoirea tablei subțiri sub diferite unghiuri se poate realiza pe *mașina de îndoit manuală* (fig. 5.118). Tabla, introdusă pînă la un opritor, este strînsă între falca fixă și falca mobilă a mașinii, după care, prin rotirea fălcii de îndoire se realizează îndoirea dorită a tablei. La fabricația în serie se folosesc scule de îndoire avînd forma și dimensiunile matriței și ale poansonului, corespunzătoare piesei ce urmează să se obțină prin îndoire (fig. 5.119). Aceste scule se montează pe *prese de îndoit* hidraulice sau mecanice.

Sculele complexe de îndoire permit executarea simultană sau succesivă a mai multor îndoiri în direcții diferite. În figura 5.120, *a* este dat ca exemplu principiul de funcționare a unei scule cu role rotative pentru o piesă cu unghiurile de îndoire peste 90°, iar scula cu came oscilante din figura 5.120, *b* asigură obținerea unei piese mai complicate. *Sculele combinate* permit executarea succesivă, la o singură cursă a berbecului presei, a operațiilor de ștanțare și de îndoire.

Îndoirea produselor de lățime mare se execută pe *mașini de îndoit universale (prese abcant)*, care asigură îndoiri de orice profil, îndoiri cu raze mari, nervurări, bordurări, răsfrîngeri. Aceste mașini sînt folosite pentru fabricarea în serie a unei mari varietăți de piese și profile. În figura 5.121 sînt date exemple pentru succesiunea operațiilor la îndoirea unor profile mai complicate și cîteva profile folosite, în special, în industria constructoare de autovehicule. În figura 5.122 sînt reprezentate fazele executării unui profil relativ simplu în formă de U.

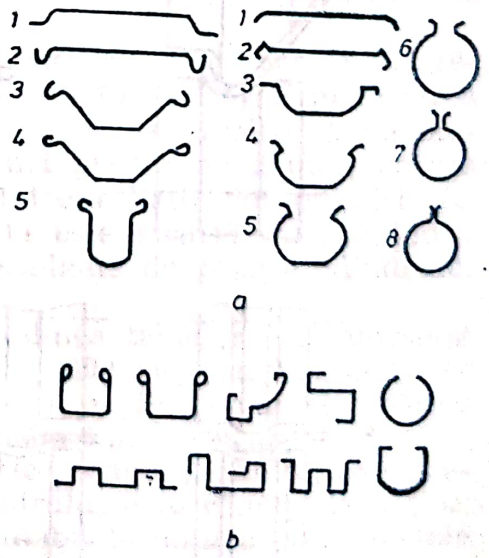


Fig. 5.121. Succesiunea operațiilor la două exemple de îndoire (*a*) și diferite profile obținute prin îndoire (*b*).

Scanned with OKEN Scanner

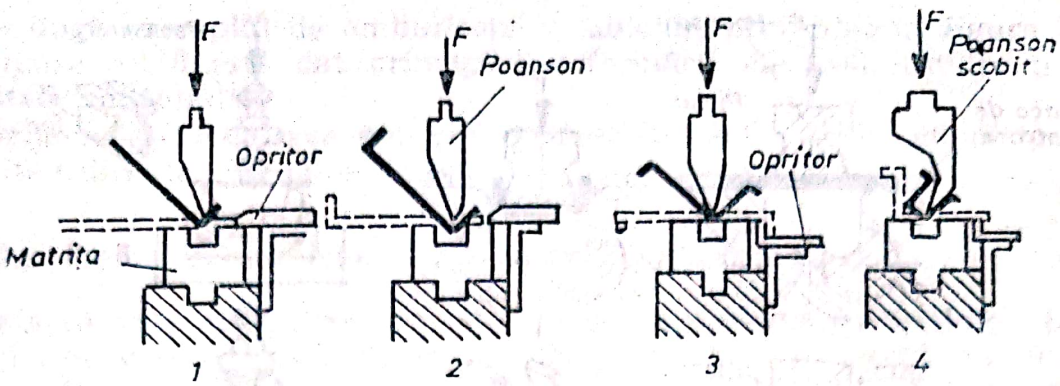
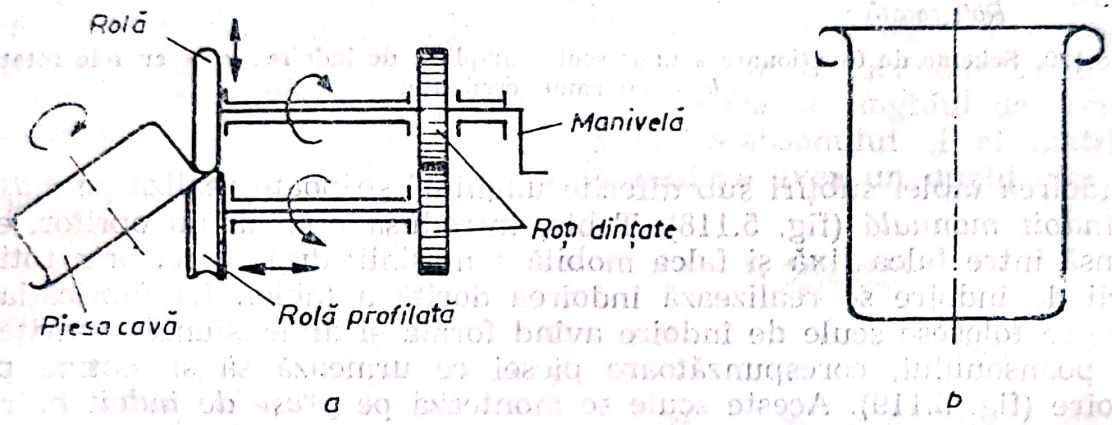


Fig. 5.122. Fazele îndoirii unui profil în formă de U.



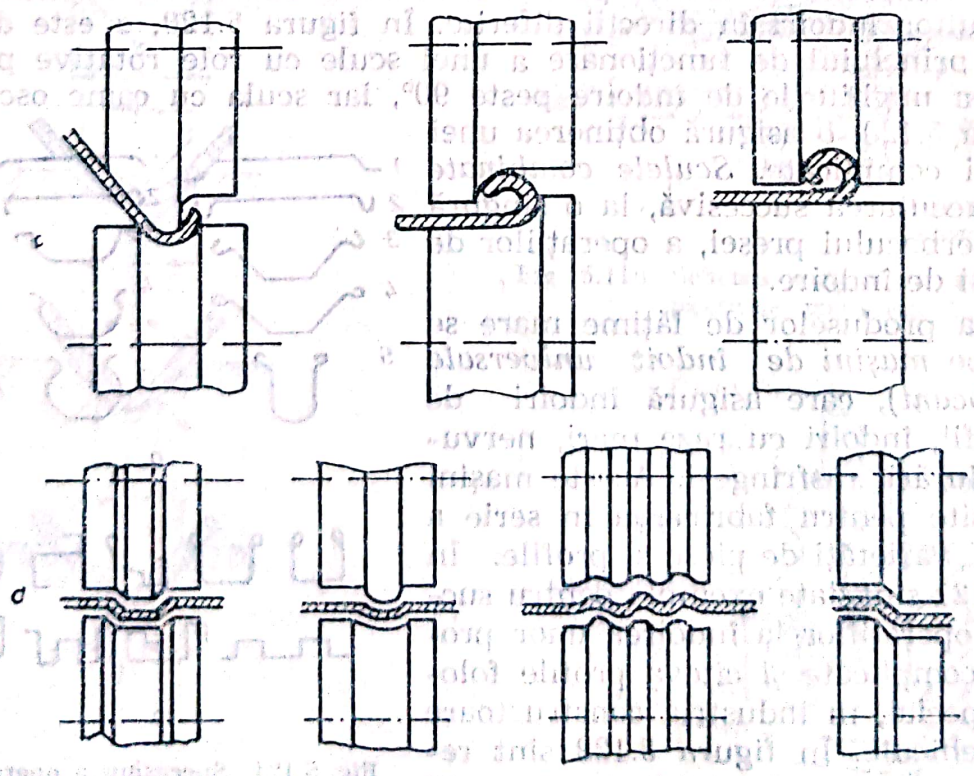


Fig. 5.123. Îndoiri executate pe mașini cu role profilate: *a* — mașina manuală de îndoit; *b* — piesă bordurată; *c* — fazele bordurării; *d* — exemple de nervurare.

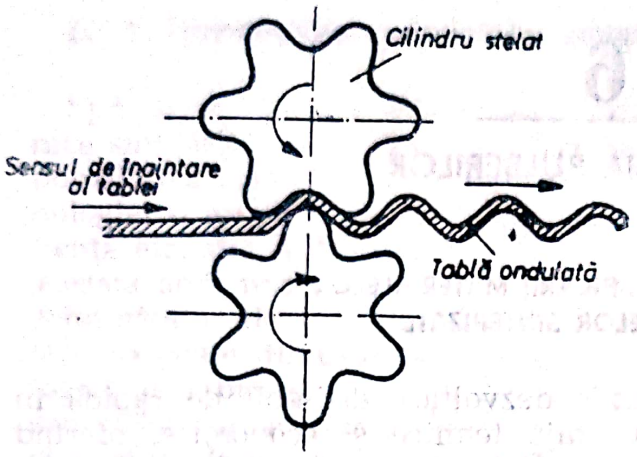


Fig. 5.124. Schema fabricării tablei ondulate.

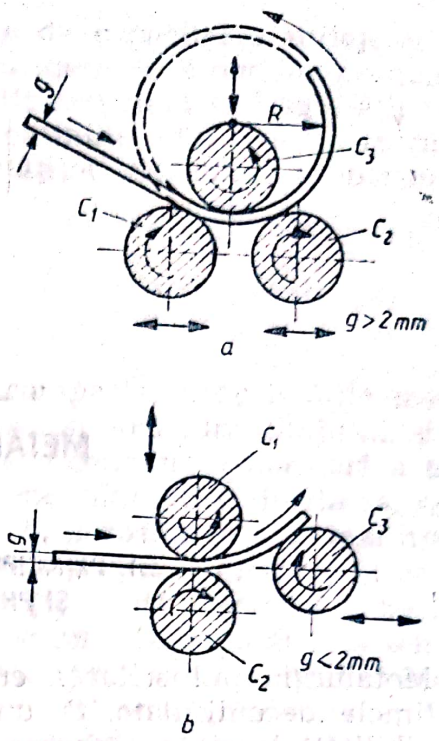


Fig. 5.125. Schema curbării (virolării tablelor groase (*a*) și a tablei subțiri (*b*).

Mașinile mari de îndoit universale au o cursă de 100 . . . 200 mm și permit montarea unor matrițe (prisme) și poansoane lungi pînă la 6000 mm.

După un alt principiu pot fi executate îndoiri complexe, răsfrîngeri de margini, caneluri, nervuri și bordurări cu ajutorul mașinilor cu role profilate (fig. 5.123). În cazul acționării mecanice se pot îndoi astfel table și benzi pînă la 3 mm grosime.

În figura 5.124 este dat principiul fabricării tablei ondulate, folosind o instalație asemănătoare cu un laminor, cu doi cilindri profilați în sens longitudinal (cilindri stelați).

Curbarea tablelor cu raze mari, cum sînt virolele pentru cazane și rezervoare, se realizează pe mașini cu trei cilindri (fig. 5.125). Prin reglarea poziției cilindrului C_3 se pot obține diferite raze de îndoire R. La mașinile destinate pentru curbarea tablelor mai groase de 2 mm, poziția cilindrului C_3 este la mijlocul distanței între ceilalți doi cilindri. La curbarea tablei subțiri (sub 2 mm), aceasta este strînsă între cilindrii C_1 și C_2, raza de curbură dorită fiind determinată de poziția cilindrului reglabil C_3.

În funcție de mărimea mașinii și de grosimea tablelor care urmează să fie curbate, cilindrii au diametrul de 50 . . . 400 mm, iar lungimea lor poate să ajungă la unele mașini pînă la 6 . . . 8 m. Se pot îndoi table cu grosimea de la 1 la 20 mm și cu lungimea pînă la 6 m.

Pentru a permite scoaterea virolei cilindrice complet închise, care trebuie realizată în multe cazuri, lagărul cilindrului care rămîne la mijloc, are o construcție specială, fiind ușor demontabil la unul dintre capetele cilindrului.

Este posibilă curbarea tablei și în formă de con (virole tronconice), dacă se lucrează pe mașini cu valțuri conice.

Scanned with OKEN Scanner

6

METALURGIA PULBERILOR

6.1. PRINCIPIUL FABRICĂRII MATERIALELOR ȘI PRODUSELOR SINTERIZATE

Metalurgia pulberilor a cunoscut o dezvoltare deosebit de rapidă în ultimele decenii datorită unor avantaje tehnice și economice, oferind posibilități largi în elaborarea de materiale și produse noi, cu caracteristici deosebite, cerute de tehnica modernă.

Procesul tehnologic de fabricare a produselor sinterizate este fundamental deosebit de tehnologia metalurgiei clasice, eliminînd procesele de topire și turnare și constă din următoarele operații principale: elaborarea pulberilor, formarea semifabricatelor prin compactizarea amestecului de pulberi și sinterizarea, care uneori este urmată și de operații de finisare (calibrare, îmbibare cu ulei, impregnare, tratament termic sau termochimic etc.). Sinterizarea se realizează la temperaturi inferioare punctului de topire al metalului respectiv sau al componentului principal din amestecul de pulberi.

Importanța tehnică și economică a aplicării metalurgiei pulberilor se datorește următoarelor *avantaje mai importante:* economie mare de metale prin eliminarea aproape completă a deșeurilor, care la alte procedee reprezintă 20 . . . 80% din cantitatea metalelor intrate în procesul de fabricație; asigurarea unei compoziții precise și uniforme, cu o mare constanță a proprietăților; posibilitatea obținerii pieselor sinterizate direct la forma geometrică și dimensiunile finale, nefiind necesare prelucrări mecance ulterioare; productivitatea deosebit de ridicată; posibilitatea înlocuirii unor materiale scumpe sau deficitare; obținerea unor materiale și produse ce nu pot fi elaborate prin procedeele clasice (elaborarea wolframului, a pseudoaliajelor W—Cu, W—Cu—Ag pentru contacte electrice etc.); posibilitatea obținerii unor materiale cu proprietăți speciale (porozitate uniformă și dirijabilă, coeficient de frecare realizabil între limite foarte largi, proprietăți de autolubrifiere, proprietăți magnetice și electrice deosebit de bune); ridicarea perfomanțelor tehnice ale mașinilor, aparatelor și instalațiilor la care se montează piese sinterizate din pulberi metalice; utilajele de bază sînt universale și funcționarea lor poate fi ușor mecanizată și automatizată.

Limitarea domeniului de aplicare a metalurgiei pulberilor în construcția de mașini se datorește: prețului mai ridicat al pulberilor metalice; limitelor impuse complexității formei geometrice ale pieselor; limitelor

Scanned with OKEN Scanner

impuse dimensiunilor pieselor, determinate de capacitatea utilajelor de compactizare; prețului ridicat al matrițelor care se amortizează numai la serii mai mari de fabricație; compactității mai mici și fragilității pieselor sinterizate, față de cele turnate sau obținute prin deformare plastică, ceea ce cauzează diminuarea proprietăților mecanice, proporțional cu mărimea porozității.

6.1.1. Proprietățile materialelor sinterizate

Spre deosebire de materialele metalice compacte, proprietățile mecanice sînt definite, pe lîngă compoziția chimică și structura aliajului, și de porozitatea materialului sinterizat, care este o consecință normală a tehnologiei și nu un defect. Rezistența la tracțiune, alungirea, duritatea, reziliența etc. sînt reduse cu atît mai mult, cu cît porozitatea este mai mare, aceasta acționînd ca un factor de micșorare a secțiunii efective și ca un concentrator de tensiune (fig. 6.1). Această influență negativă a porozității se poate diminua prin alegerea unei variante îmbunătățite a tehnologiei de fabricație și a parametrilor acesteia, prin care se poate reduce sau chiar anula porozitatea, se poate realiza o porozitate cît mai fină și o sferoidizare a porilor. Astfel, pentru anumite produse mai pretențioase se recomandă: dubla presare, presarea izostatică, sintermatrițarea, infiltrarea cu un metal topit, mărirea duratei sinterizării și a temperaturii acesteia, aplicarea sinterizării activate etc.

În funcție de domeniul de aplicare și de scopul urmărit, la materialele sinterizate pot fi ușor realizate proprietăți specifice și noi asocieri ale acestora: proprietatea de autolubrifiere, un coeficient de frecare redus și funcționare silențioasă la materialele antifricțiune; o rezistență foarte bună la temperaturi ridicate, un coeficient de frecare mare, rezistență bună la uzare și o conductivitate termică foarte bună la materialele de fricțiune; o duritate și o rezistență la uzare deosebit de mare (chiar la temperaturi foarte ridicate) la aliajele dure sinterizate; o rezistivitate mică, o duritate și rezistență mecanică ridicată, o conductivitate termică și rezistență la coroziune foarte bune la materialele de contacte electrice; proprietăți magnetice superioare celor realizabile pe baza altor tehnologii la materialele magnetice fabricate din pulberi metalice.

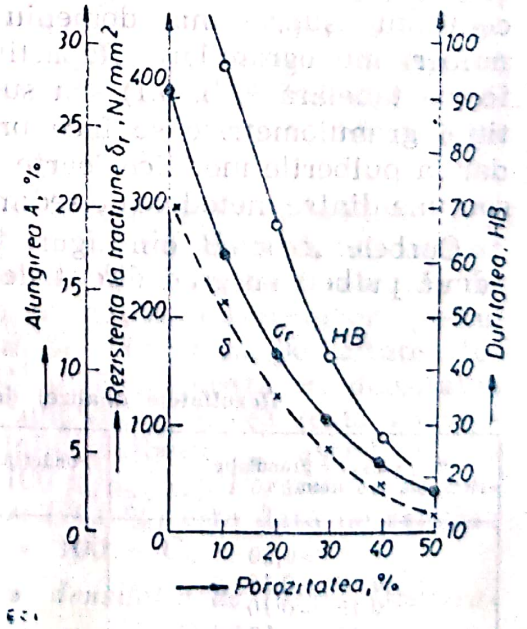


Fig. 6.1. Influența porozității asupra proprietăților mecanice la un material sinterizat din pulbere de fier.

6.2. PULBERI METALICE

Mărimea granulelor care alcătuiesc pulberile utilizate în mod curent în metalurgia pulberilor este cuprinsă între 0,1 și 400 μm. Sînt folosite pulberi de metale pure, de aliaje, de compuși intermetalici sau compuși chimici ai me-

talelor și în unele cazuri pulberi nemetalice (grafit, stearat de zinc etc.). Fiecare pulbere este caracterizată printr-o serie de proprietăți importante care determină și domeniile lor de utilizare.

6.2.1. Proprietățile pulberilor metalice

Principalele *proprietăți fizice* ale pulberilor sînt:

• *forma granulelor*, care este determinată de metoda de fabricație a pulberii; poate fi sferică, ovoidă, poliedrică, lamelară, lenticulară, dendritică, aciculară etc. Aprecierea cantitativă a formei granulelor se poate exprima prin raportul dintre dimensiunile măsurate după cele trei direcții (coeficienți de formă).

• *structura internă a granulelor* (poate fi compactă sau poroasă, spongioasă).

• *calitatea și mărimea suprafeței granulelor*. *Suprafața granulelor* poate fi netedă, respectiv mai mult sau mai puțin rugoasă, cu rugozități rotunjite sau colțuroase, cu crăpături, pori, capilare etc. *Suprafața specifică* a pulberii, exprimată în cm^2/g, este cu atît mai mare, cu cît pulberea este mai fină și cu cît particulele au o suprafață mai rugoasă și o structură internă mai poroasă, spongioasă.

• *microduritatea granulelor* (depinde de compoziția chimică a materialului pulberii și de procedeul de fabricație). O microduritate ridicată are o influență defavorabilă asupra presabilității și asupra durabilității matrițelor de presare, a căror uzare se accentuează la prelucrarea acestor pulberi.

• *mărimea granulelor și repartiția granulometrică*. Are o influență decisivă asupra proprietăților tehnologice ale pulberilor, asupra proprietăților semifabricatelor presate și ale produselor sinterizate finite. La majoritatea pulberilor, dimensiunile particulelor se extind continuu sau discontinuu asupra unui domeniu dimensional mai larg, nefiind utilizate pulberi monogranulare. Repartiția granulometrică se poate exprima sub formă tabelară (tab. 6.1) sau sub formă de grafice. Determinarea repartiției granulometrice se face prin analiza de cernere (STAS 8431—79), dar la pulberile metalice foarte fine trebuie aplicată metoda microscopică sau una dintre metodele de sedimentare.

Curbele *A* și *B* din figura 6.2 reprezintă repartiția granulometrică două pulberi cu grad diferit de finețe. Curbele *A'* și *B'* dau diferențialel

Tabelul 6.1

Rezultatele analizei de cernere a unei pulberi de fier

Clasa de granulație [mm]	Ponderea fracțiunii granulometrice [%]	Suma fracțiunilor granulometrice, refuzul cumulat [%]
>0,20	1,1	1,1
0,20 —0,15	1,4	2,5
0,15 —0,10	3,6	6,1
0,10 —0,075	3,9	10,0
0,075—0,060	4,5	14,5
<0,060	85,5	100,0

Scanned with OKEN Scanner

curbelor cumulative A și B, adică variația raportului $k = dM/dD$ în funcție de mărimea granulelor D, deci frecvența granulelor de diferite dimensiuni.

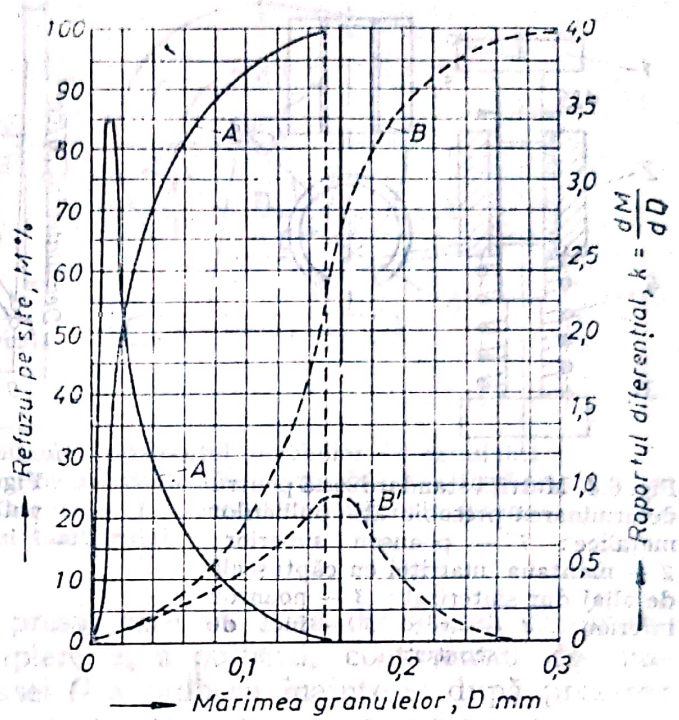


Fig. 6.2. Repartiția granulometrică a două pulberi metalice cu grade diferite de finețe.

• *densitatea reală a materialului pulberii* (ρ_m, g/cm³) este raportul dintre masa unei probe de pulbere și volumul pe care-l ocupă efectiv, excluzînd volumul porilor dintre granule și al celor din interiorul granulelor.

Dintre *proprietățile chimice* ale pulberilor ne interesează:

• *compoziția chimică*, adică cantitatea procentuală a componentelor dintr-un aliaj sau dintr-un amestec de pulberi, respectiv cantitatea elementelor însoțitoare și a impurităților.

• *rezistența la coroziune și rezistența la oxidare*. Are o importanță practică foarte mare la caracterizarea pulberilor metalice. Pulberile foarte fine ale unor metale mai sensibile la oxidare (Al, Fe, Ni, Co etc.) sînt *piroforice*, în aer prezentînd fenomenul periculos de autoaprindere, ceea ce necesită un tratament de pasivizare (depiroforizare).

Principalele *proprietăți tehnologice* ale pulberilor sînt:

• *densitatea aparentă de umplere*. În stare liber vărsată (ρ_u, g/cm³) trebuie să fie cunoscută la dimensionarea matrițelor de presare. Se determină conform STAS 8432—79 prin umplerea unui recipient cilindric *2* de măsură (fig. 6.3), folosind o pîlnie *1* prevăzută cu un orificiu calibrat.

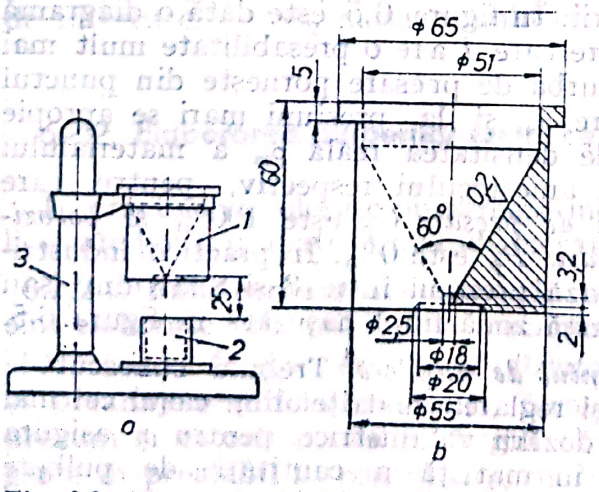


Fig. 6.3. Aparat standardizat pentru determinarea densității de umplere și a fluidității pulberilor (*a*): *1* — pîlnie standardizată; *2* — recipient cilindric de măsură cu volum de 25 cm³; *3* — stativ; dimensiunile pîlniei standardizate (*b*).

• *compactitatea de umplere* (C_u, %). Arată cît din volumul ocupat aparent de o pulbere este efectiv umplut de materialul pulberii (restul pînă la 100% fiind porozitatea totală) și se calculează din densitatea de umplere ρ_u și cea reală a materialului pulberii ρ_m astfel $C_u = 100\,\rho_u/\rho_m$ [%]. *Porozitatea de umplere* (P_u, %) este dată de relația: $P_u = 100 - C_u$.

• *densitatea de tasare (scuturare)* ρ_t, g/cm³. Este densitatea aparentă a pulberii după o scuturare intensă, aceasta fiind, de obicei,

Scanned with OKEN Scanner

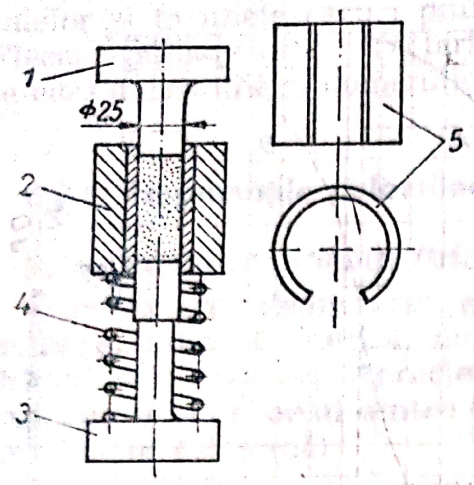


Fig. 6.4. Matriță standardizată pentru determinarea presabilității pulberilor metalice: *1* — poanson superior; *2* — mantaua matriței cu căptușeală de aliaj dur sinterizat; *3* — poanson inferior; *4* — arc; *5* — inel de scoatere.

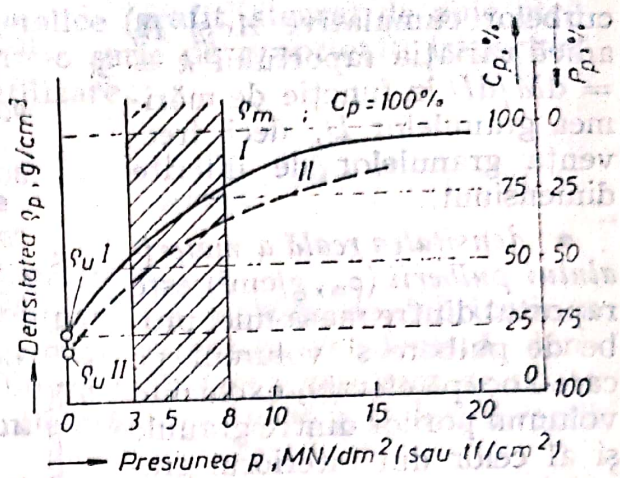


Fig. 6.5. Diagramă de presare pentru două pulberi metalice cu presabilități diferite.

cu 20 ... 25% mai mare decît densitatea de umplere a aceleiași pulberi. Asemănător caracteristicilor calculate din densitatea de umplere, se poate calcula și după tasare *compactitatea de tasare* C_t, % și *porozitatea de tasare* P_t, %.

• *fluiditatea*. Este caracterizată prin timpul în secunde, în care o anumită cantitate de pulbere se scurge din pîlnia standardizată (STAS 8651—70) care a fost prezentată în figura 6.3.

• compresibilitatea (sau presabilitatea) se determină după STAS 9089—80 și arată densitatea comprimatului obținut prin presarea bilaterală a unei mase definite de pulbere, la o presiune dată, într-o matriță cilindrică (fig. 6.4). Determinînd masa M, în g și volumul V, în cm^3 a comprimatului, *densitatea de presare* ρ_p se calculează cu ajutorul relației: $\rho_p = M/V$ [g/cm³]. Efectuînd mai multe determinări la diferite presiuni, se stabilește *curba de presare* a pulberii. În figura 6.5 este dată o diagramă de presare pentru două pulberi, dintre care *I* are o presabilitate mult mai bună, comparativ cu pulberea *II*. Curba de presare pornește din punctul corespunzător densității de umplere ρ_u și la presiuni mari se apropie asimptotic de densitatea reală ρ_m a materialului pulberii sau amestecului respectiv, pentru care *compactitatea de presare* C_p este 100% și *porozitatea de presare* P_p este 0%. În practica industrială se utilizează presiuni între 3 și 8 MN/dm² (sau tf/cm²), această zonă fiind hașurată în figura 6.5.

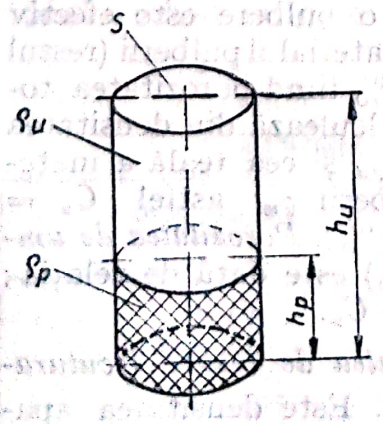


Fig. 6.6. Presarea pulberii metalice într-o matriță cu cavitate cilindrică.

• *coeficientul de umplere*. Trebuie cunoscut la proiectarea și reglarea matrițelor în cazul cel mai răspîndit al dozării volumetrice, pentru a asigura introducerea în matriță a cantității de pulbere exact necesară realizării unei piese cu greutatea și dimensiunile cerute. Reprezentînd în figura 6.6. cavitatea de umplere cilindrică a unei matrițe, care are înălțimea de umplere h_u și secțiunea S și notînd

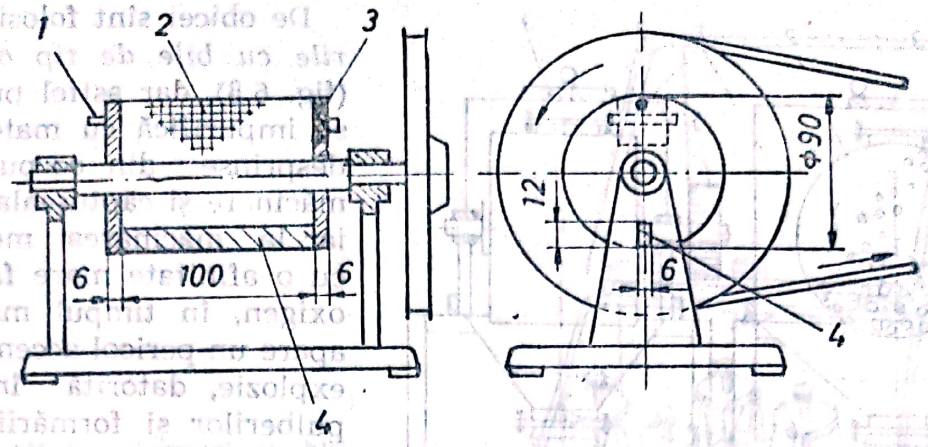


Fig. 6.7. Aparat pentru determinarea rezistenței muchiilor la semifabricate presate: *1* — cui pentru acționarea contorului de rotații; *2* — tambur rotativ; *3* — ușă laterală de alimentare; *4* — bară de ridicare din interiorul tamburului.

cu h_p înălțimea semifabricatului presat care va avea densitatea de presare ρ_p, față de densitatea de umplere ρ_u a pulberii, coeficientul de umplere U rezultă din egalitatea masei G a pulberii înainte și după presare: $G = S\,h_u\rho_u = S\,h_p\rho_p$, de unde: $U = h_u/h_p = \rho_p/\rho_u$. Astfel înălțimea necunoscută a cavității de umplere se poate calcula cu relația: $h_u = h_p\rho_p/\rho_u$. În practică valoarea coeficientului de umplere variază între 2 și 3,5.

● *stabilitatea formei semifabricatului după compactizare* caracterizează rezistența mecanică a acestuia, care trebuie să permită manipularea semifabricatelor pînă la intrarea lor în cuptorul de sinterizare. Această proprietate se exprimă prin *rezistența muchiilor* care se determină cu ajutorul aparatului prezentat în figura 6.7. Din pulberea de cercetat se presează 5 pastile cilindrice identice, care se rotesc cu 60 rot/min în tamburul *2* cu mantaua din țesătură de sită, timp de 15 min. Pulberea care se desprinde de pe muchiile epruvetelor, cade prin ochiurile țesăturii mantalei. Rezistența muchiilor M este dată de relația:
$M = [1 - (m_1 - m_2)/m_1]\,100$ [%], în care m_1 este masa pastilelor înainte de încercare, iar m_2 masa pastilelor după încercare.

6.2.2. Elaborarea pulberilor metalice

În practică se folosesc numeroase metode de fabricare a pulberilor metalice care pot fi grupate în metode mecanice și fizico-chimice.

6.2.2.1. **Fabricarea pulberilor prin metode mecanice.** O serie de pulberi sînt elaborate prin măcinarea mecanică a metalelor și aliajelor.

Măcinarea în mori cu bile și vibratoare. Materialele suficient de casante și prealiajele (diferite carburi, feroaliaje, aliaje Al—Fe și Al—Si—Fe, precum și catozii poroși și fragili obținuți prin electroliză) sînt dezintegrate în prealabil în concasoare, mori cu ciocane sau cu role. Metalele și aliajele tenace și moi se pulverizează anterior din fază lichidă și apoi urmează măcinarea pînă la finețea dorită (de exemplu fabricarea pulberilor fine de aluminiu).

Scanned with OKEN Scanner

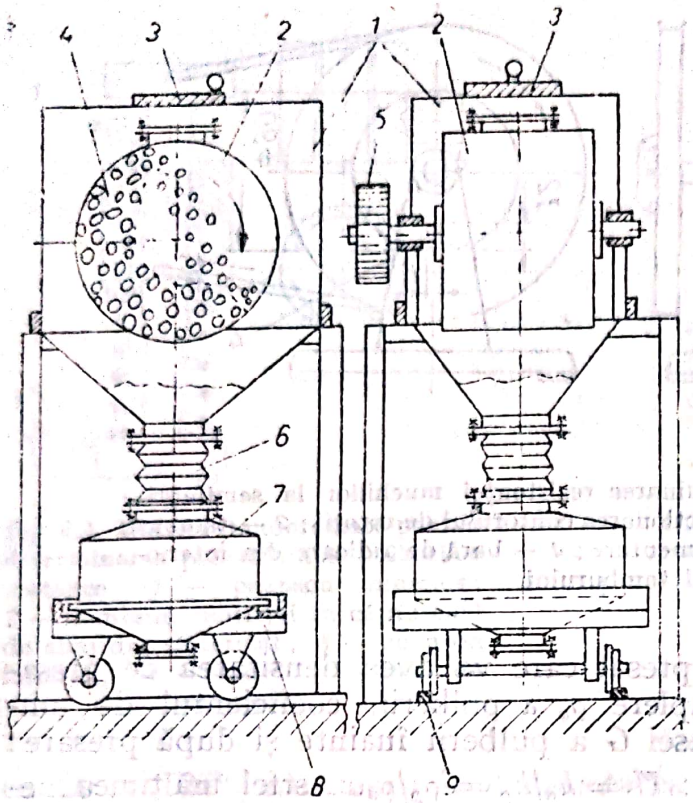


Fig. 6.8. Moară cu bile: *1* — carcasă închisă; *2* — tambur de măcinare; *3* — ușă de închidere; *4* — bilele și încărcătura morii; *5* — roată dințată de antrenare; *6* — burduf de pînză cauciucată; *7* — container de transport; *8* — cărucior; *9* — șină.

De obicei sînt folosite *morile cu bile de tip obișnuit* (fig. 6.8), dar astfel pulberea se impurifică cu materialele desprinse din corpurile de măcinare și căptușeala morii, iar la măcinarea metalelor cu o afinitate mare față de oxigen, în timpul măcinării apare un pericol accentuat de explozie, datorită încălzirii pulberilor și formării unei suspensii de particule foarte fine în atmosfera închisă a morii. Pentru evitarea exploziilor se folosesc materiale corespunzătoare de adaos care acoperă în timpul măcinării suprafața granulelor cu un film foarte subțire, sau prin moară se trece un curent permanent de atmosferă protectoare (N_2, Ar etc.). Pentru a reduce încălzirea excesivă a încărcăturii tobele rotative sînt umezite abundent cu apă de răcire.

Morile vibratoare cu bile, care au un randament de măcinare foarte ridicat, servesc la obținerea pulberilor fine și foarte fine (de aluminiu, carburi de wolfram și titan, ferite pentru magneți și benzi de magnetofoane, materiale ceramice, grafit etc.). Tamburul de măcinare (fig. 6.9), sprijinit pe arcuri, nu se rotește, ci execută o mișcare vibratoare cu frecvența între 900 . . . 3000 Hz, de mică amplitudine (2 . . . 10 mm), datorită maselor excentrice fixate pe arborele principal, cuplat elastic direct cu motorul electric de antrenare. Pentru măcinarea cantităților mai mici de

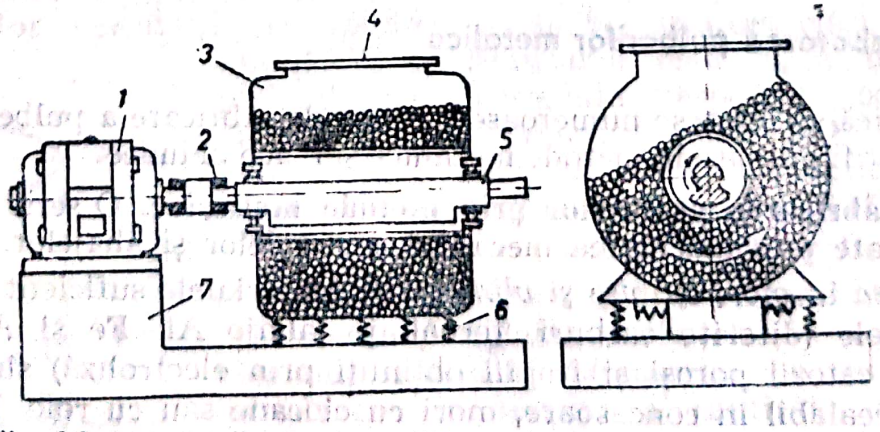


Fig. 6.9. Moară vibratoare cu bile: *1* — motor de antrenare; *2* — cuplaj cu arbore elastic; *3* — tambur de măcinare; *4* — ușă de alimentare și descărcare; *5* — arbore cu masă excentrică; *6* — sistem de suspensie cu arcuri spirale; *7* — batiul morii.

Scanned with OKEN Scanner

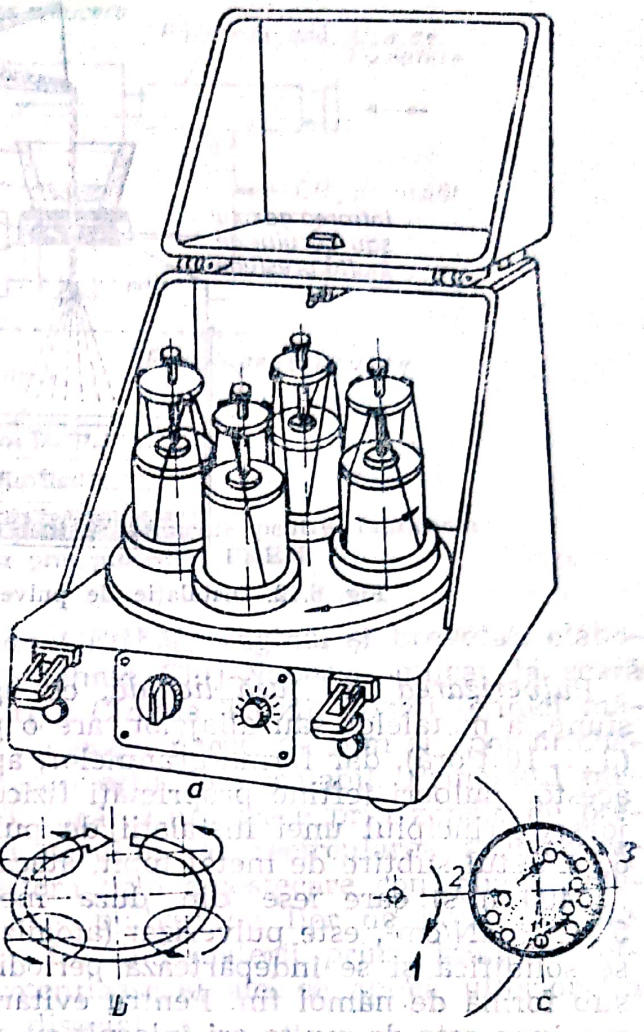


Fig. 6.10. Moară planetară cu bile tip laborator: *a* — vederea morii cu capacul deschis; *b* — principiul realizării mișcării planetare; *c* — secțiune orizontală printr-un tambur de măcinare (*1* — mișcarea discului morii; *2* — forța centrifugă; *3* — mișcarea de rotație a tamburului în jurul axei proprii).

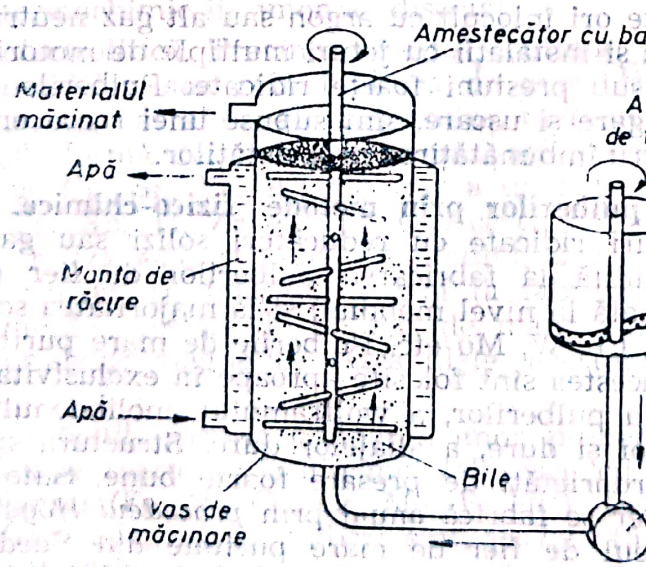


Fig. 6.11. Principiul de funcționare al unui atritor.

materiale se aplică mai nou cu succes *morile planetare cu bile* (fig. 6.10) și *atritoarele* (fig. 6.11) încărcate cu bile, printre care trece materialul de măcinat sub forma unei suspensii. Productivitatea acestor mori moderne poate să întreacă, pentru numeroase materiale, de 2 ... 10 ori productivitatea morilor cu bile clasice.

Scanned with OKEN Scanner

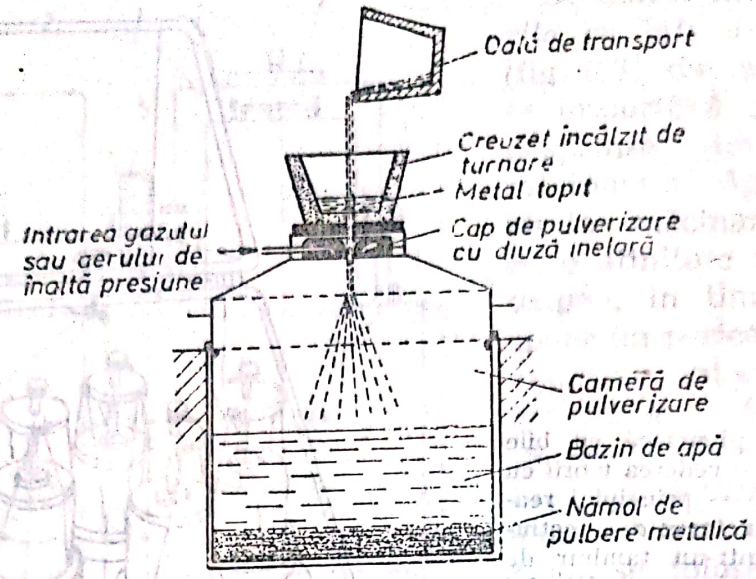


Fig. 6.12. Instalație de pulverizare din fază lichidă.

Pulverizarea din fază lichidă, cu agenți lichizi sau gazoși sub presiune, a metalelor sau aliajelor, are o productivitate deosebit de ridicată (3 . . . 10 t/oră), dar forma granulelor, apropiată de cea sferică, nu asigură acestor pulberi ieftine proprietăți fizice și tehnologice destul de avantajoase. Principiul unei instalații de pulverizare este prezentat în figura 6.12. Jetul subțire de metal topit, atacat de aerul de mare viteză (300 . . . . . 400 m/s) care iese din duza inelară sub acțiunea presiunii de 5 . . . 8 daN/cm², este pulverizat (atomizat) în picături foarte fine. Acestea se solidifică și se îndepărtează periodic de la fundul bazinului cu apă, sub formă de nămol fin. Pentru evitarea oxidării particulelor, aerul sub presiune este de multe ori înlocuit cu argon sau alt gaz neutru, respectiv reducător. Se folosesc și instalații cu jeturi multiple de motorină sau alte hidrocarburi lichide sub presiuni foarte ridicate. Pulberile astfel obținute, după o centrifugare și uscare, sînt supuse unei recoaceri în atmosferă reducătoare, pentru îmbunătățirea proprietăților.

6.2.2.2. **Fabricarea pulberilor prin metode fizico-chimice.** *Reducerea oxizilor* la temperaturi ridicate cu reducători solizi sau gazoși este o metodă foarte răspîndită la fabricarea pulberilor de fier (peste 70% din cantitatea consumată la nivel mondial) și la majoritatea sortimentelor de pulberi de Ni, Cu, Co, W, Mo etc. Pulberile de mare puritate sînt reduse cu hidrogen și acestea sînt folosite aproape în exclusivitate la fabricarea, prin metalurgia pulberilor, a wolframului, molibdenului, a materialelor magnetice moi și dure, a aliajelor dure. Structura spongioasă a granulelor asigură proprietăți de presare foarte bune. Sute de mii de tone de pulberi de fier se fabrică anual prin *procedeul Höganäs*. La varianta clasică minereul de fier de mare puritate din Suedia este fin măcinat și introdus în straturi, împreună cu pulbere de cărbune sau cocs, în vase refractare închise, care sînt apoi trecute prin cuptoare tunel lungi de 200 m. Un ciclu complet constă dintr-o preîncălzire de 45 ore, o menținere de 30 ore la 1200°C și o răcire de 40 ore. Pulberea obținută prin măcinarea blocurilor ușor sinterizate de fier spongios se mai supune unui tratament termic de recoacere reducătoare în hidrogen sau amoniac disociat.

Scanned with OKEN Scanner

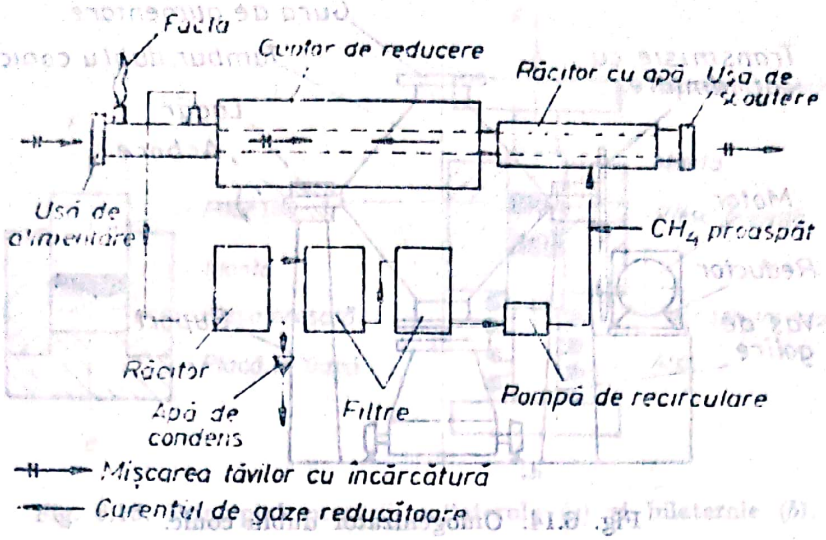


Fig. 6.13. Schema instalației pilot de reducere pentru fabricarea pulberilor de fier prin procedeul FREM.

În țara noastră se aplică *procedeul FREM*, original și brevetat, elaborat de specialiștii Institutului Politehnic Cluj-Napoca, aplicat la scară industrială în Combinatul Metalurgic Cîmpia Turzii. Oxizii tehnici măcinați în mori cu bile, amestecați cu puțin negru de fum și apoi brichetați, sînt reduși cu gaz metan neconvertit în prealabil. Principiul metodei este prezentat în figura 6.13. Încărcătura trece prin zonele de preîncălzire, reducere și răcire a cuptorului, iar recircularea gazelor reducătoare și reîmprospătarea acestora prin amestecare continuă cu metan proaspăt, asigură obținerea unei pulberi de fier de bună calitate, foarte săracă în oxigen și carbon, folosind materii prime indigene ieftine. Pentru sortimentele mai pretențioase și aici se aplică ulterior un tratament termochimic în amoniac disociat.

Metoda electrolitică. Trecînd curentul continuu prin soluțiile apoase a sărurilor metalelor, sau prin topitura de mare temperatură a acestora, în condițiile adecvat alese ale procesului, metalul sau aliajul se depune la catod sub formă de pulbere. Prima variantă se aplică la fabricarea pulberilor de Cu, Sn, Fe, Ag etc., iar a doua pentru obținerea pulberilor de U, Ta, Nb, Ti, Zr etc. La fabricarea industrială a pulberilor de cupru, electroliza este cea mai răspîndită, dar la fier, din cauza prețului prea ridicat, se folosește numai la fabricarea în cantități mici a unor sortimente speciale de pulberi de mare puritate, cerute la fabricarea materialelor magnetice. Granulele acestor pulberi au o formă dendritică.

Metoda carbonil permite obținerea unor pulberi de mare puritate și cu o granulație foarte fină, din metalele care cu oxidul de carbon formează carbonili (Fe, Ni, Co, Cr, Mo, W etc.). Datorită procesului complicat de fabricație, aceste pulberi sînt de 7... 15 ori mai scumpe decît cele obținute prin reducere, motiv pentru care sînt utilizate numai acolo, unde se cer produse de înaltă puritate (industria electrotehnică, electronică, nucleară, tehnica vidului etc.). Lucrînd cu amestecuri de carbonili, se pot fabrica și pulberi aliate (Fe-Co, Fe-Ni, Fe-Mo, Ni-Co etc.).

6.2.2.3. **Pregătirea amestecurilor de pulberi.** De cele mai multe ori se utilizează amestecuri de pulberi pentru a realiza la produsul finit

Scanned with OKEN Scanner

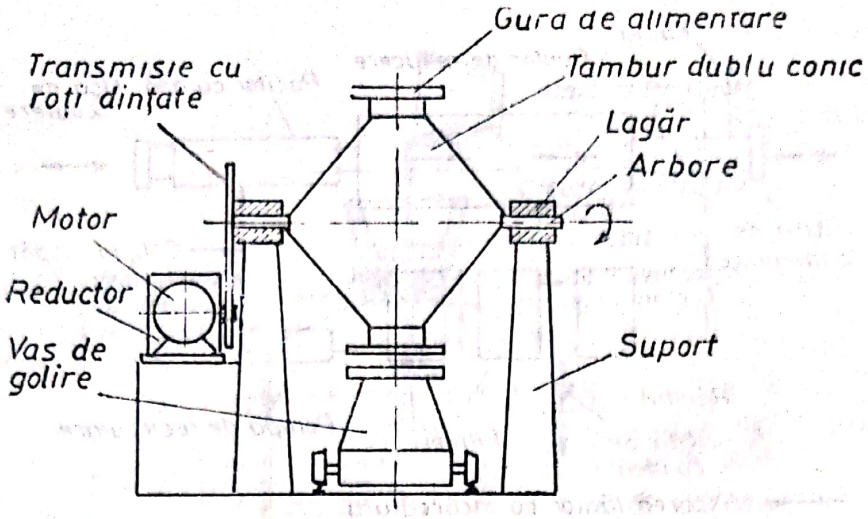


Fig. 6.14. Omogenizator dublu conic.

compoziția chimică prescrisă. *Dozarea amestecului* se face prin cîntărire, din mai multe sortimente de pulberi metalice și eventual nemetalice, de cele mai multe ori adăugîndu-se și mici cantități de materiale lubrifiante, care favorizează operația de formare.

Omogenizarea componenților este o operație deosebit de importantă și realizează o repartiție uniformă a componenților, fiind utilizate pentru acest scop, de cele mai multe ori, omogenizatoarele dublu conice (fig. 6.14) de diferite capacități (50 . . . 500 l). Rezultatul omogenizării se controlează prin metode microscopice, microchimice sau cu ajutorul izotopilor radioactivi.

6.3. FORMAREA ÎN METALURGIA PULBERILOR

6.3.1. Presarea pulberilor în matriță

Metoda cea mai utilizată pentru formarea pieselor de mașini din amestecuri de pulberi, este presarea în matrițe de oțel, deoarece asigură o precizie ridicată și forme destul de complexe, o calitate superioară a suprafețelor semifabricatului, o productivitate mare, putîndu-se mecaniza și automatiza ușor.

Dozarea amestecului de pulberi în cavitatea matriței se poate face foarte precis prin *metoda gravimetrică* (prin cîntărire), dar nefiind operativă în producția de serie, se aplică foarte rar. De regulă se utilizează *dozarea volumetrică,* folosind un dozator automat (fig. 6.24.) care introduce în cavitatea de umplere a matriței cantitatea de pulbere necesară unui semifabricat (v. și fig. 6.6). La *presarea unilaterală* poansonul inferior este fix (fig. 6.15, *a*) și se acționează numai poansonul superior, dar astfel repartizarea densității în semifabricatul presat este foarte neuniformă și aceasta se accentuează cu atît mai mult, cu cît înălțimea comprimatului este mai mare. Densitatea și duritatea scad cu mărirea distanței de la poansonul activ (fig. 6.16. *a, b*). La *presarea bilaterală* (fig. 6.4. și fig. 6.15, *b*) față de pulberea introdusă în matriță, se deplasează ambele poansoane cu viteze egale, asigurînd obținerea unei omogenități mult mai mari a densității și durității măsurate în diferite puncte

Scanned with OKEN Scanner

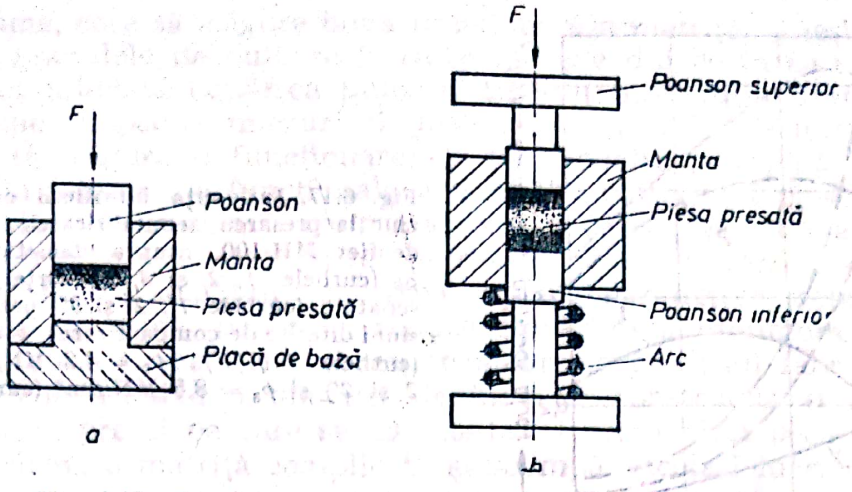


Fig. 6.15. Principiul presării unilaterale (*a*) şi bilaterale (*b*).

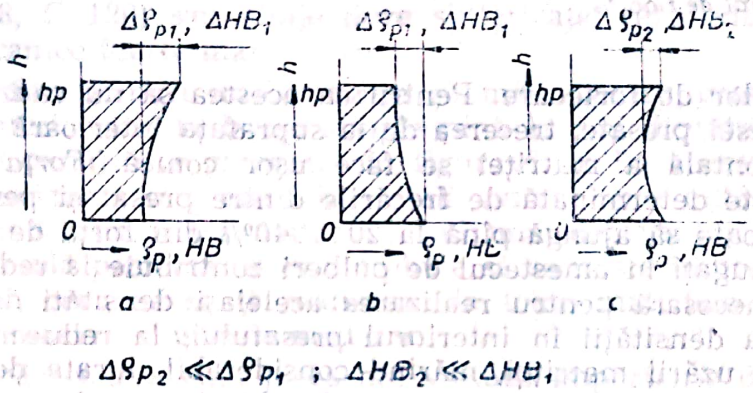


Fig. 6.16. Variaţia densităţii ρ_p şi a durităţii HB pe înălţimea semifabricatului la presare unilaterală de sus în jos, (*a*), de jos în sus (*b*) şi bilaterală (*c*).

pe înălţimea semifabricatului (fig. 6.16, *c*). Prin această metodă se pot presa produse cu grad de omogenitate acceptabil al densităţii, şi atunci cînd înălţimea h a semifabricatului este mare. Astfel se poate ajunge cu raportul h/D chiar la valori de 2...4.

Valoarea presiunii de compactizare se poate determina, pe baza densităţii cerute de presare ρ_p, din diagrama de presare a amestecului folosit (fig. 6.5). În general nu se recomandă folosirea presiunilor mai mari de 6...7 MN/dm² (tf/cm²), deoarece presele necesare ar fi mult prea mari şi matriţele nu rezistă, sau se uzează prea repede. *Forţa de presare* F se poate calcula din presiunea de compactizare p, MN/dm^2 şi din mărimea cunoscută a secţiunii transversale S, cm^2: $F = p \cdot S$ $[10^{-2}MN]$ sau $\sim$ [tf]. *Viteza de presare* nu este bine să fie mult prea mare, ca aerul închis între granule să poată fi evacuat, în caz contrar formîndu-se perne de aer comprimat în interiorul semifabricatului presat, care, la îndepărtarea poansoanelor, lucrînd ca nişte pene, pot fisura piesa scoasă din matriţă.

Evacuarea semifabricatului din matriţă se produce după retragerea poansonului superior, prin ridicarea poansonului inferior. Pe măsura părăsirii matriţei, semifabricatul presat se relaxează, mărindu-şi puţin dimensiunile atît în direcţia presării, cît şi perpendicular pe ea. Această revenire *elastică* la nivelul superior al cavităţii matriţei conduce la apa-

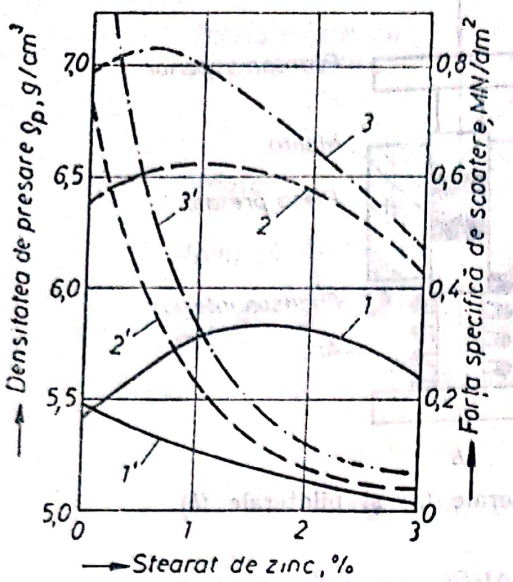


Fig. 6.17. Influența lubrifierii cu stearat de zinc la presarea semifabricatelor din pulbere de fier MH 100, asupra densității de presare ρ_p (curbele *1*, *2*, și *3*) și forței specifice de scoatere (curbele *1'*, *2'* și *3'*) pentru trei presiuni diferite de compactizare: $p_1 = 2{,}1$ MN/dm² (curbele *1* și *1'*); $p_2 = 4{,}2$ MN/dm² (curbele *2* și *2'*) și $p_3 = 8{,}5$ MN/dm² (curbele 3 și 3').

riția tensiunilor de forfecare. Pentru ca acestea să nu cauzeze fisurarea laterală a piesei presate, trecerea de la suprafața interioară a cavității la suprafața frontală a matriței se face ușor conică. *Forța de scoatere* (evacuare) este determinată de frecările dintre presat și pereții cavității matriței și poate să ajungă pînă la 20 ... 40% din forța de presare. *Lubrifianții* adăugați în amestecul de pulberi contribuie la reducerea forței de presare, necesară pentru realizarea aceleiași densități de presare, la uniformizarea densității în interiorul presatului, la reducerea forței de scoatere și a uzării matriței, mărind considerabil durata de funcționare a acesteia. În acest scop se folosește, de obicei, un adaos de 0,5 ... 1% stearat de zinc. Diagrama din figura 6.17 arată că la presiuni de compactizare mai mari, adaosul optim de stearat de zinc este mai mic.

6.3.2. Utilajele de presare

Presele mecanice și hidraulice de mare putere, utilizate în metalurgia pulberilor, sînt utilaje universale, putînd fi folosite pentru fabricarea unui foarte mare număr de piese și produse diferite, fiind necesară numai schimbarea matrițelor de presare. Matrița, în schimb, este construită pentru fabricarea în serie a unui singur tip de produs. Deoarece matrițele sînt foarte scumpe, din cauza preciziei de execuție ridicate și prețului oțelurilor de scule înalt aliate și tratate termic, este ușor de înțeles că tehnologia metalurgiei pulberilor devine rentabilă numai la producția în serie mare (peste 5 ... 20 de mii de piese pe an) a produselor sinterizate.

Matrițele (dimensionare și construcție). La dimensionarea matrițelor trebuie să fie respectate următoarele principii de bază: întreaga cantitate de pulbere, necesară realizării unei piese, trebuie să intre în cavitatea matriței într-o singură operație de dozare; la stabilirea dimensiunilor secțiunii transversale a cavității, trebuie să se țină seama de revenirea elastică a comprimatului după scoaterea acestuia din matriță, de contracția de sinterizare și de eventualul adaos de calibrare; între elementele active, mobile ale matriței (manta, poansoane, miezuri), trebuie să existe

Scanned with OKEN Scanner

jocuri optime, care să asigure buna funcționare a matriței și ieșirea aerului dintre granulele de pulbere (care se apropie din ce în ce mai mult), împiedicînd totodată curgerea pulberii fine în interstițiul dintre manta și poansoane, respectiv miezuri și poansoane; jocul să fie minim la început, ca să asigure o funcționare cît mai îndelungată pînă la ieșirea acestuia din toleranțele funcționale admisibile; materialul pieselor active să aibe o duritate maximă, pentru a avea o rezistență cît mai bună la uzare, pe lîngă o tenacitate strict necesară evitării ruperii pieselor mai sensibile și foarte solicitate: calitatea suprafețelor active trebuie să fie cît se poate de bună, pentru a reduce frecările la minimum și a asigura o calitate a suprafețelor corespunzătoare la produsul fabricat. Complexitatea constructivă a matriței depinde de construcția și gradul de perfecțiune al presei pe care se va monta. O presă mult prea simplă (și ieftină) reclamă o matriță complicată și scumpă. Același lucru este valabil și invers.

Părțile active ale matrițelor, se execută din oțeluri superioare pentru scule (OSC 8, C 120) sau aliaje dure sinterizate, rezistente la uzare și solicitări mecanice foarte mari.

Principiul funcționării unei matrițe cu miez pentru presarea pieselor cu un gol interior (de la bucșe simple pînă la roți dințate prevăzute și cu canale de pană) este prezentat în figura 6.18. La această construcție simplă se realizează o presare bilaterală numai spre exterior, spre interior rămînînd o presare unilaterală, mult mai dezavantajoasă. Pentru o presare bilaterală perfectă, miezul trebuie să se miște împreună cu mantaua matriței, ceea ce se și realizează la toate matrițele de acest tip, montate pe presele industriale moderne.

Se complică situația cînd piesa are variații importante de înălțime în diferitele zone ale acesteia. Aici, la poansoane monolitice, nu se poate asigura o densitate de presare uniformă în diferitele zone ale piesei. Din

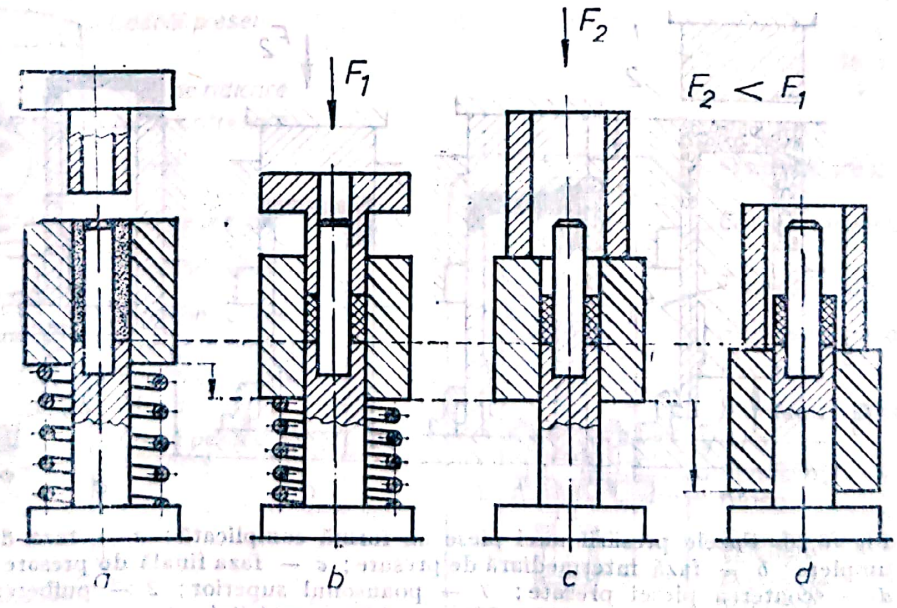


Fig. 6.18. Presarea într-o matriță simplă cu miez: *a* — după umplerea cu pulbere; *b* — după terminarea presării bilaterale aparente; *c* — după îndepărtarea arcului și așezarea inelului de scoatere; *d* — după terminarea scoaterii piesei din mantaua matriței.

Scanned with OKEN Scanner

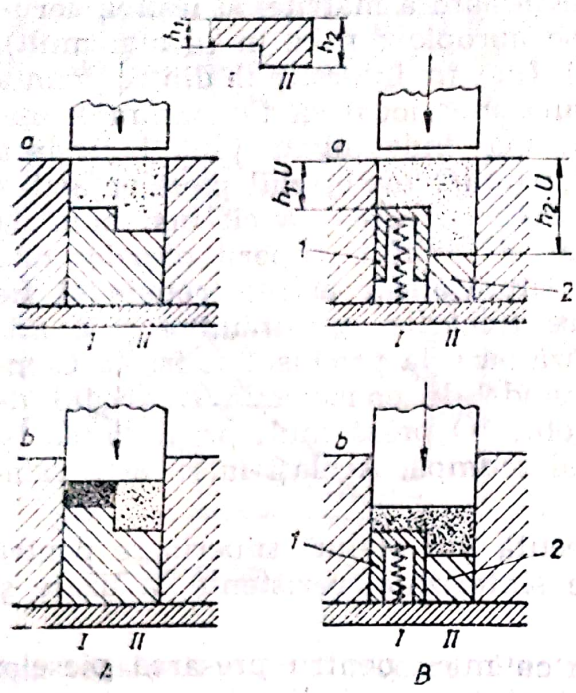


Fig. 6.19. Principiul presării pieselor cu variații importante de înălțime: *A* — cu poansoane monolitice; *B* — cu poansoane divizate.

exemplul prezentat în figura 6.19 rezultă clar că este necesară folosirea poansoanelor divizate, din mai multe bucăți, corespunzînd fiecărei denivelări, avînd mișcări independente, asigurate de arcuri (la matrițe simple), sau prin comanda individuală a fiecărei părți de poanson de către mecanismele presei utilizate. Poziția elementelor de poanson în momentul alimentării cu pulbere a matriței, trebuie să asigure respectarea relației bazate pe coeficientul de umplere al pulberii utilizate pentru presiunea de compactizare dată: $h_u = h_p \rho_p / \rho_u = h_p \cdot U$. Poziția acestor elemente de poanson, la sfîrșitul presării, trebuie să asigure forma și dimensiunile piesei, conform desenului acesteia. Patru exemple sînt date în figurile 6.20 și 6.21.

Presele pentru metalurgia pulberilor trebuie să asigure presarea pulberii prin acționarea poansonului superior, scoaterea semifabricatului prin ridicarea poansonului inferior sau coborîrea mantalei matriței, comanda independentă a poansoanelor divizate în cazul pieselor cu variații importante de înălțime și umplerea automată a cavității matriței cu pulbere. La producția în serie a pieselor relativ mici, cel mai frecvent,

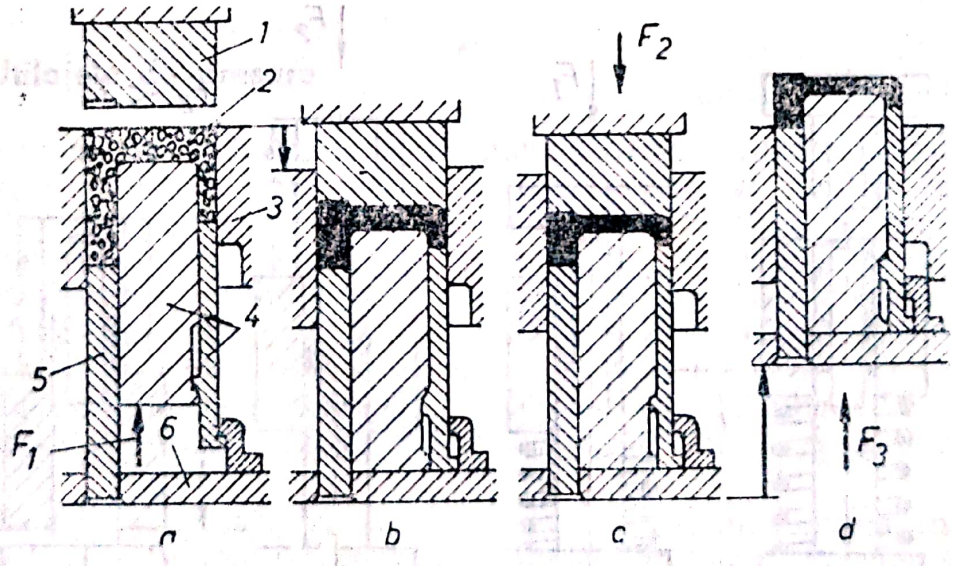


Fig. 6.20. Fazele presării unei piese cu formă complicată: *a* — faza de umplere; *b* — fază intermediară de presare; *c* — faza finală de presare; *d* — scoaterea piesei presate; *1* — poansonul superior; *2* — pulberea umplută în matriță; *3* — mantaua mobilă a matriței; *4* — poansoane inferioare mobile; *5* — poanson inferior fix (în timpul umplerii și presării); *6* — placa de bază a poansoanelor (care se ridică în timpul scoaterii); F_1 — forța de ridicare a poansoanelor inferioare mobile; F_2 — forța de presare; F_3 — forța de scoatere.

Scanned with OKEN Scanner

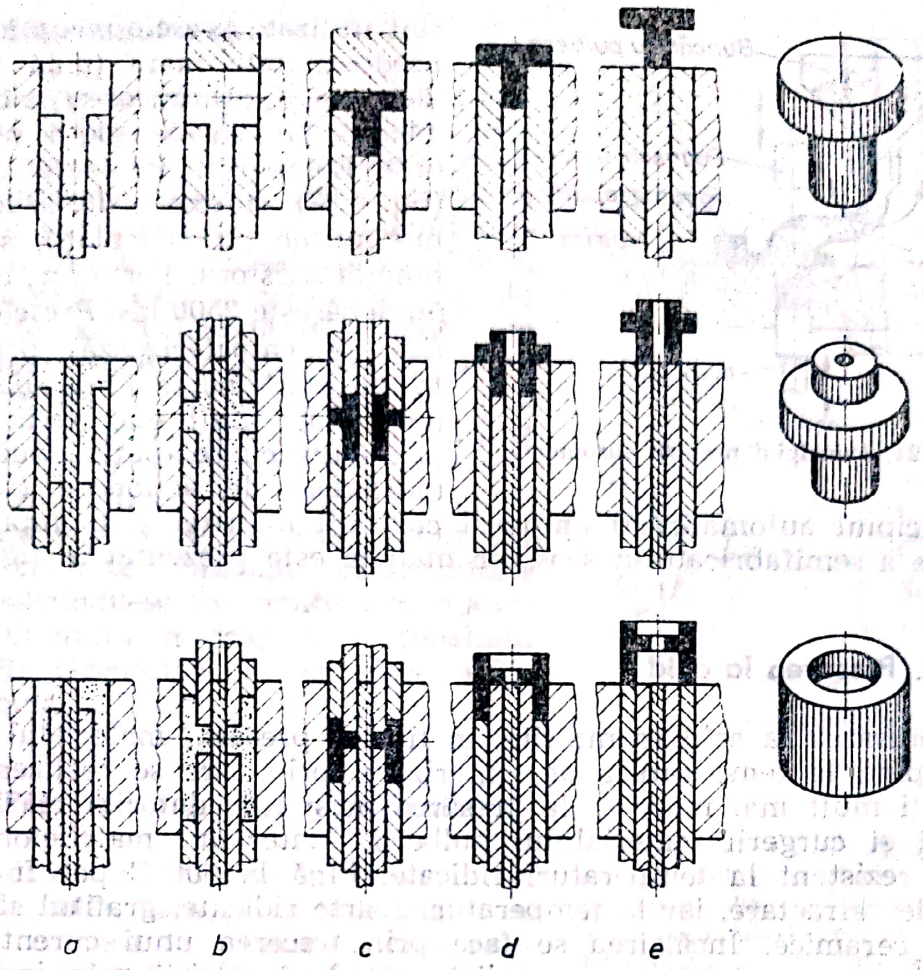


Fig. 6.21. Trei exemple de presare a unor piese cu variații importante de înălțime, aplicînd principiul presării cu poansoane divizate.

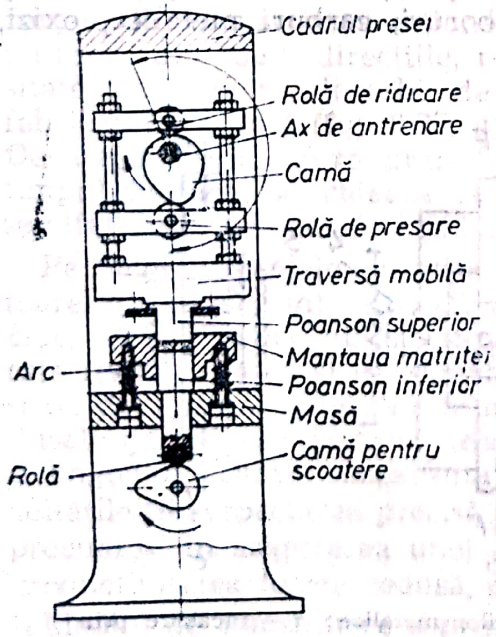


Fig. 6.22. Presă mecanică cu came, mantaua matriței fiind liberă ca, prin coborîre și comprimarea arcurilor, să asigure presarea bilaterală.

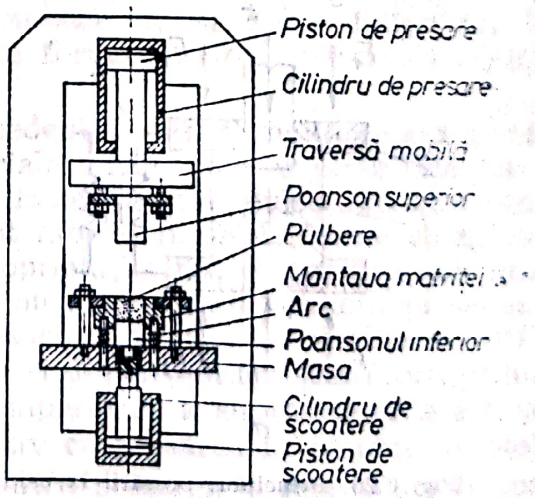


Fig. 6.23. Presă hidraulică cu două sisteme hidraulice de acționare (pentru presare și pentru scoatere).

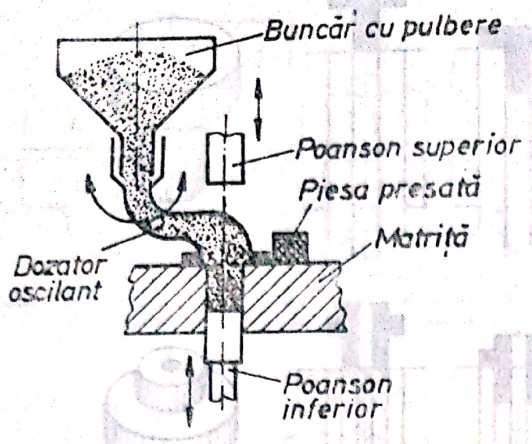


Fig. 6.24. Principiul presării automate.

sînt utilizate *presele mecanice*, avînd productivitate mare (pînă la 10 ... 30 piese pe minut, ceea ce înseamnă 14,5 ... 43 mii de piese pe 24 de ore). Ele pot fi acționate cu came (fig. 6.22), cu excentric, arbore cotit, mecanisme cu articulații, sau combinația acestora. Forța lor, de obicei, nu depășește 2500 kN. *Presele hidraulice* se caracterizează prin forțe foarte mari, curse lungi, dar o productivitate mult mai mică. Ele sînt prevăzute cu cel puțin două sisteme hidraulice de acționare (fig. 6.23). Principiul automatizării umplerii cavității matriței și a împingerii la o parte a semifabricatului scos din matriță este prezentat în figura 6.24.

6.3.3. Presarea la cald

La presarea la cald în matrițe, în timpul presării, materialul este încălzit pînă la temperatura de sinterizare, prin care se realizează compactități mult mai mari ca la presarea obișnuită, datorită măririi plasticității și curgerii materialului pulberii. Materialul matrițelor trebuie să fie rezistent la temperaturi ridicate. Pînă la 600°C pot fi utilizate oțelurile refractare, iar la temperaturi foarte ridicate, grafitul sau materialele ceramice. Încălzirea se face prin trecerea unui curent electric puternic prin matriță sau se aplică metoda încălzirii prin inducție cu curenți de înaltă sau medie frecvență (fig. 6.25). Datorită dificultăților tehnice și durabilității foarte reduse a matrițelor, metoda se aplică foarte rar, în special la materialele rigide ca: boruri, carburi metalice, oxizi, nitruri etc.

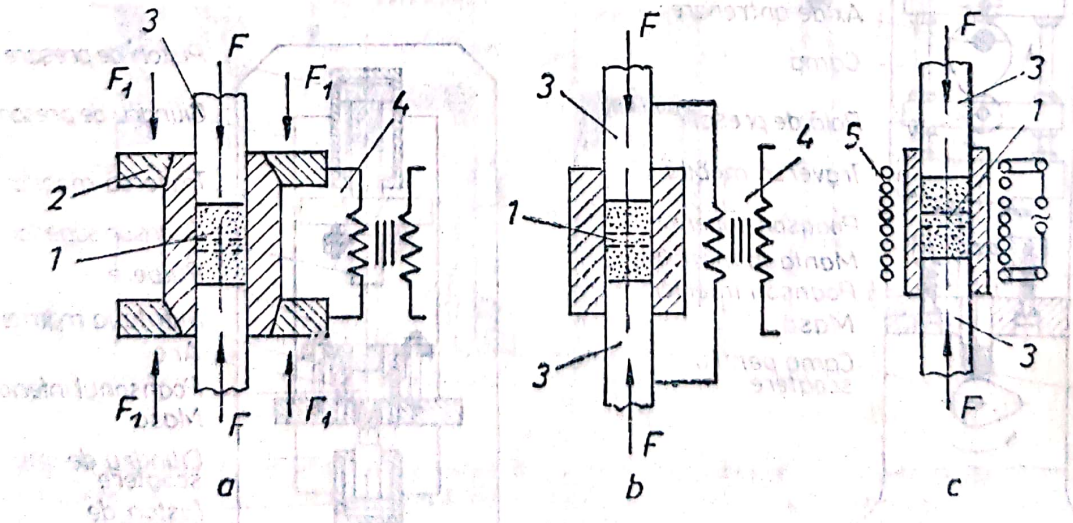


Fig. 6.25. Principiul presării la cald a pulberilor metalice: *a* — încălzire prin matrița (indirectă); *b* — încălzire prin material (directă); *c* — încălzire prin inducție; *1* — mantaua matriței; *2* — inel de contact; *3* — poansoane; *4* — transformator reglabil de alimentare; *5* — inductorul încălzirii cu înaltă frecvență.

Scanned with OKEN Scanner

6.3.4. Sintermatrițarea

Este un procedeu nou, care se extinde din ce în ce mai mult în fabricarea pieselor de mașini de mare rezistență mecanică și precizie ridicată. Prin presarea pulberilor și sinterizare se obțin semifabricate cu o formă apropiată piesei finite, care apoi se forjează la cald în matrițe de oțel. Astfel se realizează o compactitate foarte mare (peste 98%), proprietăți mecanice deosebit de bune, o densitate și o structură omogenă, chiar și în condițiile unei mari complexități a formei, de exemplu în cazul roților dințate. Spre deosebire de matrițarea clasică, aici legea volumului constant nu este valabilă, dimensiunile finale realizîndu-se concomitent cu micșorarea volumului și creșterea densității (fig. 6.26). Greutatea acestor piese poate ajunge pînă la 5 kg.

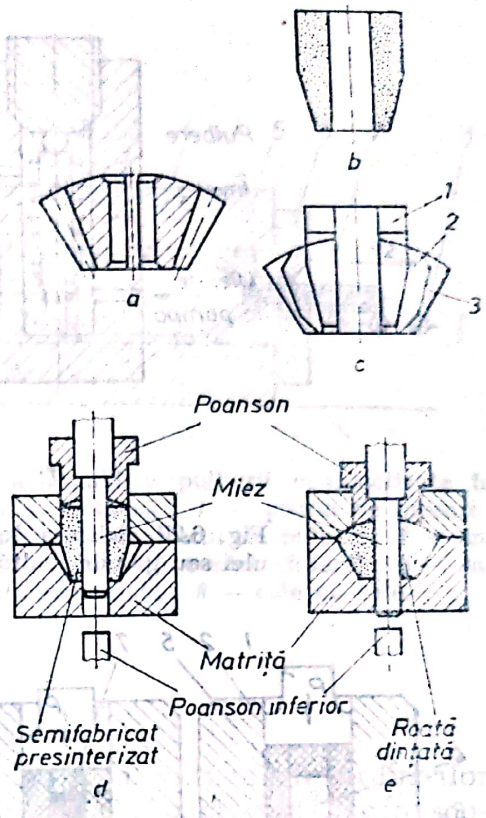


Fig. 6.26. Schema de principiu a sintermatrițării unui pinion conic din pulberi metalice: *a* — produsul finit; *b* — semifabricatul presat și presinterizat; *c* — *1, 2, 3* formele intermediare a semifabricatului în cursul matrițării; *d* — începutul matrițării; *e* — faza finală a matrițării.

6.3.5. Presarea izostatică a pulberilor

Amestecul de pulberi, introdus într-o formă flexibilă, care se închide etanș, se așază în camera de presiune a unui recipient cu pereți foarte rezistenți, în care se introduce apoi de la o pompă de înaltă presiune un lichid sau un gaz, prin care forțele de compactizare acționează în mod uniform, din toate direcțiile, realizîndu-se o presare izostatică și o densitate foarte mare, deosebit de uniform repartizată în tot volumul semifabricatului presat (fig. 6.27, *a*). Presiunile folosite sînt 2 . . . 11 MN/dm². Deoarece aerul dintre granulele de pulbere nu se poate îndepărta în timpul presării, se videază în prealabil forma flexibilă pentru a obține semifabricate presate de bună calitate.

Pe lîngă avantajele amintite ale procedeului, se mai menționează următoarele: formele sînt ieftine, din materiale ieftine și ușor accesibile (cauciuc, mase plastice etc.), putînd fi utilizate de mai multe ori; instalația este relativ simplă și universală; se pot fabrica piese de forme complexe și de dimensiuni chiar foarte mari; proprietățile fizico-mecanice ale produselor sînt foarte bune și deosebit de omogene în tot volumul piesei sau a lingoului. Dintre dezavantajele presării izostatice se amintesc: dificultățile în respectarea precisă a formei și dimensiunilor semifabricatului, precum și în asigurarea unei calități superioare a suprafețelor acestuia; productivitatea foarte redusă, comparativ cu presarea în matrițe de oțel.

Mediul de transmitere a presiunii pentru presarea la rece poate fi apa, uleiul, glicerina etc., iar pentru presarea izostatică la cald gaze inerte încălzite la temperaturi ridicate sau chiar metale, respectiv aliaje topite. Formele pentru varianta presării la cald se fac din tablă subțire de oțel

Scanned with OKEN Scanner

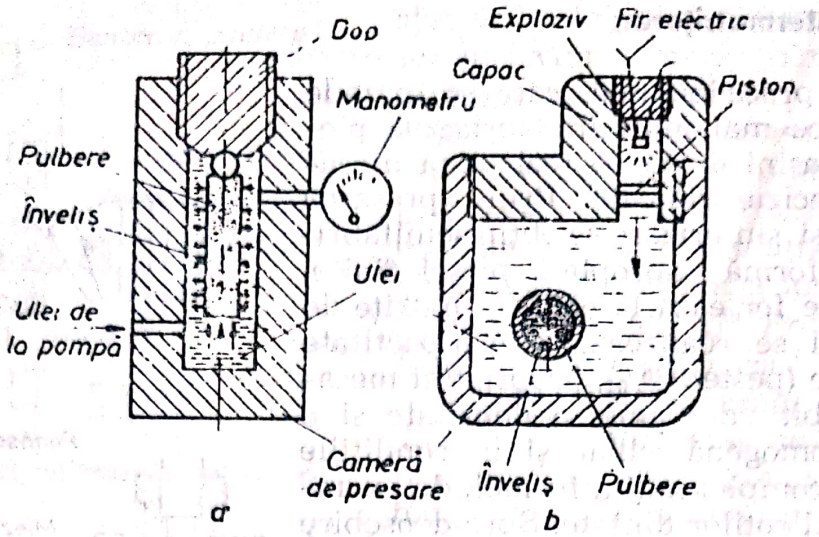


Fig. 6.27. Schema de principiu a presării izostatice: *a* — cu ulei sau gaz de înaltă presiune; *b* — cu ulei prin explozie.

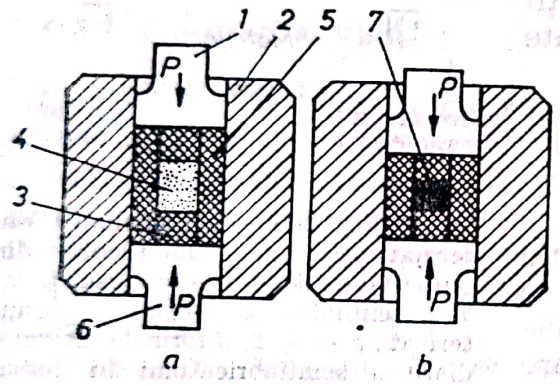


Fig. 6.28. Principiul presării izostatice în matriță de oțel căptușite cu un material foarte elastic: *1* — poansonul superior; *2* — mantaua matriței; *3* — căptușeală de cauciuc din mai multe bucăți; *4* — amestecul de pulberi metalice; *5* — bucșa de cauciuc a căptușelii; *6* — poansonul inferior; *7* — semifabricatul presat izostatic înainte de scoatere.

inoxidabil. Programul de presare stabilește valorile optime pentru viteza de creștere a presiunii, durata de menținere și viteza de descreștere a presiunii. Presatul obținut se supune apoi operațiunii obișnuite de sinterizare.

O variantă simplă a presării izostatice folosește o căptușeală groasă de cauciuc sau de alt material foarte elastic, așezat într-o matriță obișnuită de oțel (fig. 6.28). Prin ungerea căptușelii și folosirea unui lubrifiant, în amestecul de pulberi se pot realiza compactități foarte mari (85 . . . 90%) și foarte uniforme.

O altă variantă a presării izostatice este cea prin explozie (fig. 6.27, *b*), unde forța de presare crește foarte rapid.

6.3.6. Extrudarea pulberilor

Acest procedeu de formare permite obținerea unor produse cu secțiune uniformă și lungimi chiar foarte mari și cu proprietăți foarte constante. La varianta clasică a metodei, pulberile se amestecă cu un liant sau plastifiant și sînt extrudate la temperatura mediului ambiant (fig. 6.29). La temperaturi ridicate pulberile pot fi extrudate fără nici un adaos. Forma secțiunii poate să fie oricît de complicată, putînd conține și goluri longitudinale de forme foarte variate, obținîndu-se astfel sec-

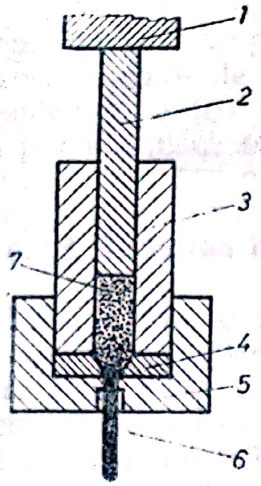


Fig. 6.29. Schema de principiu a extrudării pulberilor metalice: *1* — cap de presare; *2* — piston de presare; *3* — cilindru; *4* — matriță conică; *5* — matriță de calibrare; *6* — bara extrudată; *7* — amestecul de pulberi.

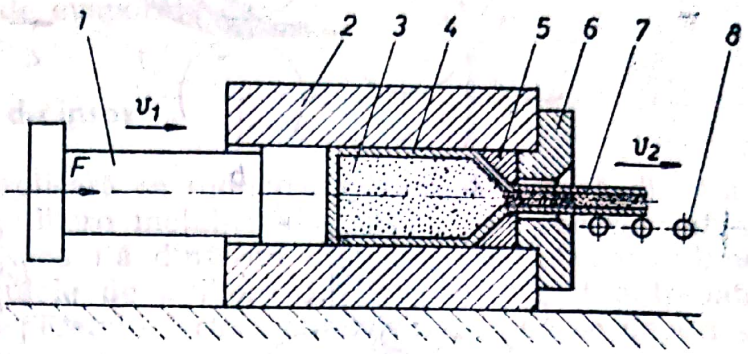


Fig. 6.30. Extrudarea la cald a pulberii compactizate în prealabil într-o capsulă metalică: *1* — piston de presare; *2* — cilindru încălzit; *3* — amestecul de pulberi; *4* — înveliș metalic etanș; *5* — matriță conică (filieră); *6* — suport; *7* — bara extrudată; *8* — cale cu role.

țiuni compacte sau tubulare. O variantă nouă a extrudării pulberilor la cald folosește o capsulă metalică, în care se compactizează, prin scuturare sau vibrare, amestecul de pulberi, după care capsula se închide etanș (eventual după o vidare prealabilă) și se extrudează la cald (fig. 6.30). Astfel se pot realiza compactități neobișnuit de ridicate, ajungînd pînă la 98%.

6.3.7. Laminarea pulberilor

Amestecul de pulberi este dozat între doi cilindri de laminare, fiind antrenat în zona de lucru, unde este compactizat într-un semifabricat continuu, de grosime mică și o lungime teoretic infinită. Dacă cilindrii sînt așezați într-un plan orizontal, alimentarea se face simplu, prin curgere gravitațională. La așezarea în plan vertical este nevoie de pîlnii cotite sau dispozitive mecanice de alimentare (fig. 6.31). Banda laminată avînd și după sinterizare o porozitate destul de mare, atunci cînd se cere un produs finit de compactitate ridicată, se aplică relaminări repetate de densificare. Prin aplicarea unui dispozitiv adecvat de dozare se pot obține table cu mai multe straturi (fig. 6.31, *d* și *e*). În *liniile continue de fabricație*, banda laminată din pulbere își continuă mișcarea prin cuptorul de sinterizare cu viteza de laminare, după care poate urma o relaminare la cald sau mai multe relaminări la rece.

Proprietățile benzii crude laminate din pulbere depind de diametrul cilindrilor și rugozitatea suprafețelor active ale acestora, de grosimea benzii, de compoziția granulometrică, densitatea de umplere și fluiditatea pulberii metalice, de viteza de laminare etc. Diametrul cilindrilor trebuie să fie de 50 . . . 200 ori mai mare decît grosimea benzii (fig. 6.32). Viteza de laminare nu depășește 10 . . . 20 m/min. Densitatea semifabricatului crește cu rugozitatea suprafețelor cilindrilor, cu densitatea de

Scanned with OKEN Scanner

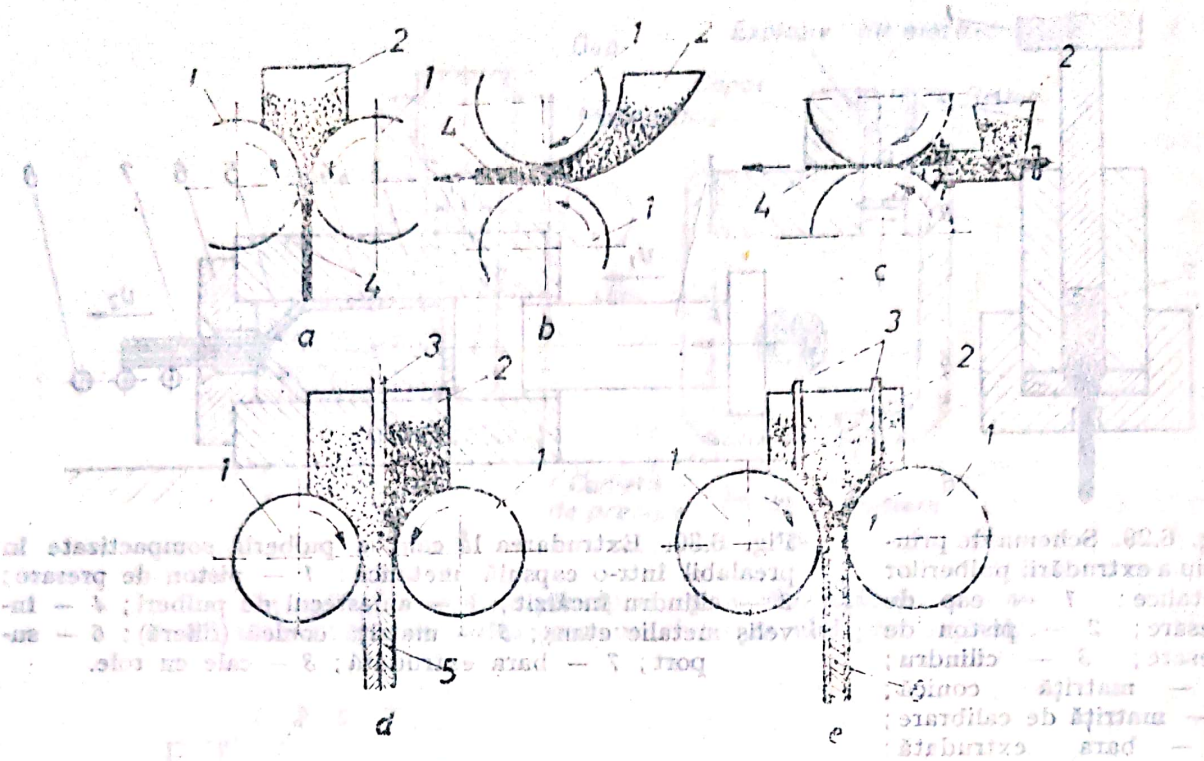


Fig. 6.31. Schema de principiu a laminării pulberilor metalice: *a* — laminare cu cilindri aşezaţi într-un plan orizontal; *b* — cilindri aşezaţi într-un plan vertical, alimentare din pîlnie; *c* — alimentare laterală forţată cu melc; *d* — laminarea unei benzi bimetalice; *e* — laminarea unei benzi trimetalice (placare cu un alt metal din ambele părţi); *1* — cilindrii; *2* — pîlnii şi dispozitive de alimentare; *3* — pereţi despărţitori în pîlnia de alimentare; *4* — produsul laminat din pulberi; *5* — banda bimetalică; *6* — banda placată din ambele părţi.

umplere şi fluiditatea, cu micşorarea grosimii benzii şi a vitezei de laminare.

Dintre avantajele tehnice şi economice ale procedeului amintim: posibilitatea fabricării de produse sinterizate de grosime mică, lăţime potrivită şi lungime mare, produse de mare puritate şi cu respectarea riguroasă a compoziţiei prescrise, produse avînd o porozitate între limite largi, un coeficient de utilizare a metalului apropiat de 100%, productivitate ridicată, cost redus, cheltuieli de investiţie relativ reduse, procedeul este continuu şi uşor de automatizat.

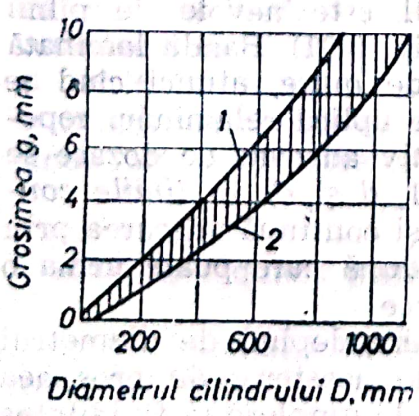


Fig. 6.32. Diagramă pentru determinarea diametrului cilindrilor în funcţie de grosimea laminatului; *1* — laminare din pulberi; *2* — relaminări.

Principalele produse şi domenii de utilizare ale laminatelor din pulberi sînt: benzi şi table din Cu, Ni, Fe, Co, oţel inoxidabil pentru industria construcţiilor de maşini; benzi de metale şi aliaje de mare puritate sau cu proprietăţi speciale pentru industria electrotehnică şi electronică (piese pentru tunuri electronice, elemente de încălzire pentru cuptoare, contacte electrice obţinute prin ştanţare, tole din materiale magnetice, electrozi poroşi pentru acumulatori, surse electrochimice, pile de combustie diafragme); benzi bimetalice, trimetalice sau placate pentru industria electrotehnică;

Scanned with OKEN Scanner

benzi de oțel, acoperite cu strat antifricțiune din material sinterizat poros pentru lagăre de alunecare autolubrifiante; table poroase pentru filtre, elemente pentru instalații de transport pneumatic, uscătoare, reactoare în pat fluidizat, instalații de evaporare etc.

6.3.8. Turnarea în forme de ipsos

Metoda care este larg aplicată în industria ceramică, constă din turnarea unei suspensii de pulbere metalică (barbotină sau șlicher) într-o formă cu pereți poroși, executată dintr-un material care absoarbe bine lichidul suspensiei. Particulele de pulbere din suspensie sînt antrenate de curenții de lichid spre peretele formei absorbante, unde se depun și se compactizează, legîndu-se puternic între ele. Grosimea stratului metalic poros astfel format crește în timp, dar viteza de depunere a fazei solide din barbotină pe pereți se micșorează pe măsură ce grosimea și compactitatea acestui strat crește. În funcție de grosimea dorită a pereților și de factorii tehnologici concreți, durata formării semifabricatului variază între 1...60 min. Dacă se cere o piesă goală în interior, după ce se atinge grosimea necesară a pereților, se îndepărtează din formă surplusul de barbotină, întrerupîndu-se astfel îngroșarea în continuare a pereților (fig. 6.33, *b*). La fabricarea produselor cu secțiune plină, în formă se prevăd una sau mai multe maselote, din care se alimentează cu barbotină cavitatea de lucru, pe măsură ce se contractă (datorită plecării spre forma de ipsos a lichidului) cantitatea de barbotină care umplea inițial această cavitate (fig. 6.33, *a*).

Deoarece la această tehnologie de formare frecarea dintre granulele pulberii este mult diminuată de acțiunea lubrifiantă a lichidului și mișcarea particulelor este mult mai complexă și mai liberă decît la presare,

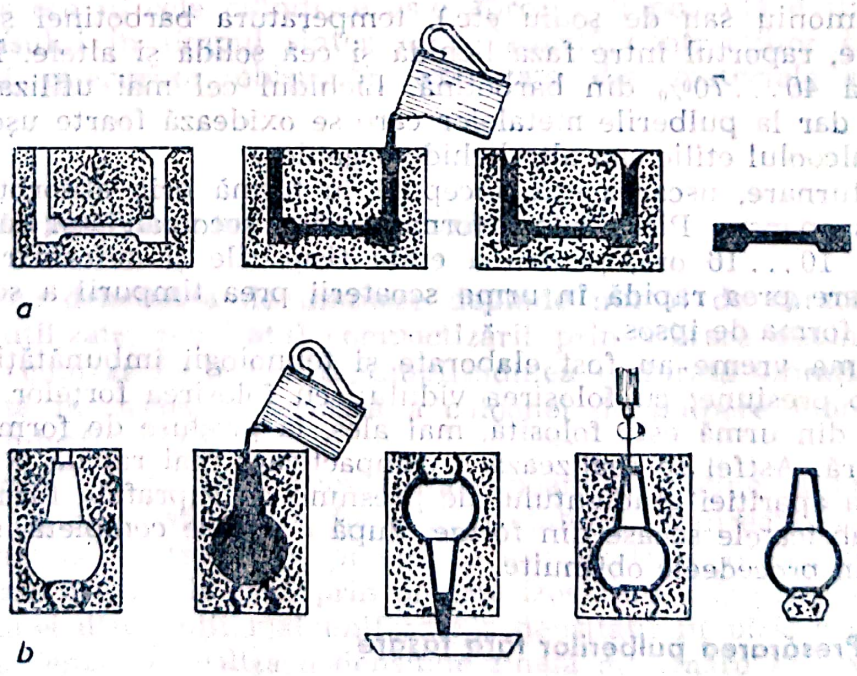


Fig. 6.33. Schema de principiu a turnării în forme de ipsos:
***a* — formarea pieselor cu secțiune plină; *b* — formarea pieselor cu gol interior.**

Scanned with OKEN Scanner

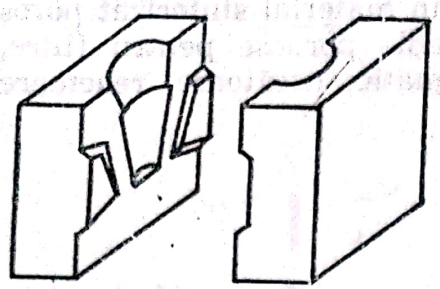


Fig. 6.34. Exemplu de formă de ipsos din două bucăți pentru turnarea suspensiilor.

densitatea semifabricatului obținut este de aceeași ordine de mărime cu cea realizată prin presarea cu forțe mari în matrițe de oțel.

Formele folosite sînt din mai multe bucăți și cavitățile de lucru reprezintă negativul formelor spațiale a semifabricatelor, ținînd seama, bineînțeles, de contracțiile la uscare și la sinterizare. Formele au ridicături (cepuri) de centrare, canale de alimentare, cavități pentru maselote etc. (fig. 6.34). La executarea formelor se prepară inițial un amestec de apă și ipsos în părți egale și se toarnă pasta într-o cutie de formare peste semimodelul uns cu ulei, care asigură o desprindere ulterioară ușoară. După întărirea ipsosului, semiformele sînt uscate în aer și apoi în instalații de uscare la 50...65°C, pînă cînd conținutul de apă ajunge la 10...5%. Înaintea folosirii formelor, suprafața lor interioară se vopsește cu o soluție de săpun, care ușurează ulterior dezlipirea semifabricatului de peretele formei. În această vopsea mai poate intra și grafit, talc, bentonită, caolină etc.

Pentru prepararea barbotinei se folosesc pulberi metalice foarte fine, cu granulele de 1...3 μm, sau de maximum 5...10 μm, pentru ca suspensiile obținute să fie mai omogene și să aibă o stabilitate mai mare în timp (granulele să nu se depună prin sedimentare).

Procesul de turnare în forme de ipsos este influențat hotărîtor de proprietățile barbotinei, care depind de o serie de factori: finețea și compoziția granulometrică a pulberilor metalice; densitatea metalului; densitatea lichidului; viscozitatea lichidului; *p*H-ul suspensiei; cantitatea și calitatea substanțelor adăugate ca defloculant și pentru îmbunătățirea *p*H-ului, respectiv a umectării granulelor de pulbere (NaOH, KOH, alginat de amoniu sau de sodiu etc.), temperatura barbotinei și a formei la turnare, raportul între faza lichidă și cea solidă și altele. Faza solidă reprezintă 40...70% din barbotină. Lichidul cel mai utilizat este apa distilată, dar la pulberile metalelor care se oxidează foarte ușor se poate folosi și alcoolul etilic sau alte lichide organice.

După turnare, uscarea este începută în formă prin absorbția lichidului din suspensie. Piesa odată formată, este recomandabil să fie lăsată în formă 10...16 ore, pentru a evita fisurările și deformările cauzate de o uscare prea rapidă în urma scoaterii prea timpurii a semifabricatului din forma de ipsos.

În ultima vreme au fost elaborate și tehnologii îmbunătățite de turnare: sub presiune; cu folosirea vidului; cu folosirea forțelor centrifuge. Varianta din urmă este folosită, mai ales, la produse de formă tubulară sau inelară. Astfel se realizează o compactizare mai rapidă și mai bună, din cauza apariției gradientului de presiune pe suprafața formei.

Semifabricatele scoase din forme, după o uscare completă, se vor sinteriza prin procedeele obișnuite.

6.3.9. Presărarea pulberilor fără tasare

Metoda este utilizată pentru obținerea produselor de mare porozitate, cum ar fi, în primul rînd, *filtrele*. La fabricarea plăcilor poroase pentru filtre, pe o tablă de oțel refractar, cu suprafața vopsită pentru realizarea

Scanned with OKEN Scanner

unui film care să împiedice sinterizarea semifabricatului de această *placă suport*, se pregătește prin presărare și nivelare atentă un strat de o grosime convenabilă din amestecul de pulberi metalice. Plăcile suport astfel acoperite, se stivuiesc și pachetele intră în cuptorul de sinterizare. După operația de sinterizare, plăcile poroase obținute, se pot desprinde ușor de pe plăcile suport.

Prin aceeași tehnologie se pot fabrica și *discurile*, respectiv *lamelele de fricțiune*, unde va lipsi stratul de vopsea separatoare, tocmai pentru a realiza prin sinterizare o legătură trainică între discul ștanțat (metalic de bază) și stratul subțire de material de fricțiune sinterizat. Dacă se cere acoperirea cu straturi de fricțiune pe ambele părți a discului metalic de bază, se realizează prin presărare și sinterizare primul strat de fricțiune, după care discul se întoarce și prin presărare, urmată de o a doua sinterizare, se obține și al doilea strat. După sinterizare, compactizarea la valoarea dorită a straturilor sinterizate de material de fricțiune se relizează prin presare sau lovire uniformă pe toată suprafața activă, folosind prese hidraulice sau ciocane mecanice de capacități corespunzătoare.

Filtrele de configurații mai complicate pot fi fabricate din tablele sinterizate poroase, prin virolare sau îndoire, urmată de închidere etanșă prin sudare. Aceste corpuri filtrante pot fi fabricate în serie și prin umplerea simplă cu pulbere a unor forme refractare, urmată de o sinterizare împreună cu aceste forme. Ca material pentru forme se utilizează grafitul, oțelurile inoxidabile, sau materialele refractare ceramice. Pentru a preîntîmpina sudarea pulberii de suprafața formelor, acestea sînt acoperite în prealabil cu o vopsea pe bază de materiale avînd o stabilitate chimică ridicată (Al_2O_3, MgO, ZrO_2, grafit etc.). La dimensionarea formelor trebuie să se țină cont de contracția la sinterizare, care, în cazul pulberilor liber vărsate, are o valoare foarte mare. Prin această tehnologie se pot fabrica, de obicei, numai piese de formă cronică sau tronconică, deoarece la cele cilindrice este aproape imposibilă evitarea crăpării produsului în timpul sinterizării, datorită contracțiilor și incompresibilității miezurilor obișnuite, executate din materiale refractare solide.

6.3.10. Compactizarea pulberilor prin vibrare

În timp ce densitatea de umplere depinde numai de caracteristicile pulberilor utilizate, rezultatul compactizării prin vibrare depinde și de alți factori, cum ar fi: frecvența, amplitudinea și durata vibrațiilor, sarcina aplicată în partea superioară a coloanei de pulbere vibrată, prezența unui lubrifiant etc.

Scopul unei compactizări prin vibrare poate fi: obținerea unei mase de pulberi cu densitate mare, fie pentru sinterizare directă, fie pentru utilizarea acesteia într-un alt proces de compactizare ulterioară, ca de exemplu prin presare la cald, prin presare izostatică, sau prin extrudare; obținerea unei distribuții mai uniforme a densității în piesele de forme complicate. Pentru a realiza o densitate finală mai mare se preferă folosirea unor pulberi cu densități de umplere cît mai mari. Aceste densități pot fi mult mărite dacă, în locul pulberii obținute direct din pro-

Scanned with OKEN Scanner

cesul de elaborare, se folosește un amestec de fracțiuni granulometrice, dozate în mod corespunzător.

Rezultatele cele mai bune se obțin la vibrațiile cu frecvențe sonore, între 20 . . . 5000 Hz. Cu creșterea amplitudinii vibrațiilor, densitatea crește, deoarece și energia cinetică a granulelor care se tasează devine mai mare. Totuși, amplitudinea trebuie corelată cu înălțimea coloanei de pulbere care se vibrează, deoarece în caz contrar, prin creșterea amplitudinii, densitățile la un moment dat pot să înceapă să se micșoreze. O nestabilitate se observă totdeauna în straturile superioare ale coloanelor vibrate de pulberi. Pentru înlăturarea acestui neajuns, pe coloana de pulbere se aplică cu ajutorul unui sistem hidraulic sau pneumatic o forță care să realizeze o apăsare de 0,5 . . . 1,5 daN/mm². Timpul de vibrare trebuie să fie scurt, deoarece prelungirea lui are ca urmare o segregare a pulberilor, în funcție de mărimea granulelor și de densitatea acestora. O vibrare de 10 secunde este, în general, suficientă pentru obținerea unei compactități corespunzătoare.

6.3.11. Proprietățile semifabricatelor formate din pulberi metalice

La asigurarea obținerii unor valori corespunzătoare a proprietăților mecanice și tehnologice ale semifabricatelor presate, un rol hotărîtor îl are presiunea de compactizare aplicată și compactitatea, respectiv porozitatea de presare, care se schimbă împreună cu aceasta (fig. 6.5). Dintre proprietățile cele mai semnificative se amintesc următoarele:

• *densitatea aparentă de presare* (ϱ_p, g/cm³); este caracteristica cea mai importantă a unui semifabricat presat. Pentru piesele de formă geometrică simplă, ea se poate determina prin cîntărire și calcularea volumului din dimensiunile măsurate ale corpului, respectiv a raportului masă/volum. Densitatea aparentă a pieselor sau epruvetelor de o formă mai complexă se determină prin cîntărirea hidrostatică, conform STAS 9709/2—74, măsurînd masa corpului prima dată în aer, apoi scufundat complet într-un vas cu apă distilată. Pentru a împiedica intrarea apei în porii materialului, se aplică în prealabil pe acesta un film superficial insolubil în apă sau se face o impregnare cu un lichid insolubil în apă. Notînd masa corpului înainte și după impregnare cu m_1, respectiv m_2, iar masa în apă cu m_3 și densitatea apei cu ϱ_w, densitatea aparentă de presare este dată de relația:

$$\varrho_p = \frac{m_1 \cdot \varrho_w}{m_2 - m_3} \quad [\text{g/cm}^3], \qquad (6.1.)$$

• *Uniformitatea densității în volumul semifabricatului format;* depinde de forma granulelor, calitatea suprafeței granulelor de pulbere, calitatea și cantitatea lubrifiantului folosit la presare, forma și dimensiunile semifabricatului presat, caracterul presării (unilaterală sau bilaterală) etc. Variația densității aparente în volumul semifabricatului presat se poate determina fie prin tăierea atentă a piesei în bucăți și determinarea densității pe aceste bucăți, fie prin determinarea mărimii și cantității porilor pe cale microscopică în diferitele zone ale piesei, fie din înnegrirea neuniformă a imaginii piesei pe un film Röntgen, obținut cu ajutorul razelor X.

Scanned with OKEN Scanner

• *porozitatea totală, deschisă și închisă;* se determină tot după metoda descrisă a cîntăririi hidrostatice, dar în acest caz trebuie să se facă o impregnare totală a corpului poros cu lichidul insolubil în apă, luînd măsuri și pentru reținerea totală a acestui lichid în porii epruvetei (fierbere în ulei sau parafină). Notînd cu ϱ_1 densitatea lichidului de impregnare (g/cm³) și păstrînd notațiile din relația (6.1), porozitatea deschisă P_d, exprimată în % de volum, se calculează cu relația:

$$P_d = \frac{(m_2 - m_1)\,\varrho_w}{(m_2 - m_3)\,\varrho_1} \cdot 100 \quad [\%]. \tag{6.2.}$$

Porozitatea totală a presatului P_t, exprimată tot în % de volum, se determină prin relația:

$$P_t = 100\left(1 - \frac{\varrho_p}{\varrho_m}\right) \quad [\%], \tag{6.3.}$$

în care: ϱ_p este densitatea aparentă a corpului presat, în g/cm³, iar ϱ_m este densitatea reală a materialului, în g/cm³. Porozitatea închisă P_i, exprimată tot în % de volum, este dată de relația:

$$P_i = P_t - P_d \quad [\%]. \tag{6.4.}$$

Compactitatea corpului presat C_p, arată în %, cît din volumul ocupat aparent de corpul poros este efectiv ocupat de către materialul metalic. Această compactitate este dată de relația:

$$C_p = 100\,\frac{\varrho_p}{\varrho_m} \quad [\%]. \tag{6.5.}$$

Deoarece suma porozității totale P_t și a compactității C_p trebuie să fie 100%, compactitatea se mai poate exprima și astfel:

$$C_p = 100 - P_t \quad [\%]. \tag{6.6.}$$

• *conductivitatea electrică* a semifabricatelor formate din pulberi metalice; poate fi utilizată pentru *caracterizarea compactizării* realizate a granulelor de pulbere, *a legăturilor* care s-au format între acestea în timpul presării, prin măsurarea, în ultima instanță, a mărimii suprafețelor metalice de contact dintre granulele de pulbere, care în totalitatea lor alcătuiesc corpul presat. Din conductivitatea electrică se pot trage concluzii și asupra proprietăților de rezistență a materialului presat și asupra stabilității formei semifabricatului după compactizare (rezistența muchiilor).

Metoda de determinare a conductivității electrice a materialelor poroase, înainte sau după sinterizare, este dată în STAS 9472/6—73. Pe fiecare epruvetă se fac cel puțin 6 măsurători și se calculează media aritmetică a valorilor obținute.

• *rezistența la compresiune și încovoiere;* deși nu constituie criterii de rebutare, valoarea lor se determină cu prilejul cercetării unui nou material sinterizat și al stabilirii tehnologiei optime de fabricație. Pentru caracterizarea rezistenței mecanice a presatelor, de obicei se determină rezistența la compresiune și la încovoiere, deoarece rezistența la tracțiune după presare are încă valori foarte mici, care prezintă și o împrăștiere mare. Orientativ, rezistența de rupere la tracțiune este de două ori mai mică decît rezistența la încovoiere și de zece ori mai mică

Scanned with OKEN Scanner

decît rezistența la compresiune. O influență deosebit de mare asupra rezistenței semifabricatelor presate o are natura pulberii, plasticitatea și forma granulelor, prezența în amestec a lubrifianților, a diferitelor adaosuri și a impurităților.

• *duritatea semifabricatelor presate;* crește aproape liniar cu presiunea de compactizare. În volumul semifabricatului duritatea variază paralel cu densitatea neuniformă. Pentru măsurarea durității acestor materiale poroase se recomandă metoda Brinell (STAS 165—66), folosind bilele de diametru mare, de 10 sau 5 mm. Datorită împrăștierilor mai mari a rezultatelor, se recomandă calcularea mediei aritmetice a cel puțin 10 determinări.

• *stabilitatea formei semifabricatului după formare* (rezistența muchiilor) se determină după metoda descrisă la punctul 6.2.1. (fig. 6.7).

• *revenirea elastică a presatelor după scoaterea din matriță;* trebuie cunoscută pentru a fi luată în considerare la proiectarea corectă a matrițelor de presare. Dimensiunile semifabricatului presat scos din matriță se măresc, atît în direcția presării, cît și perpendicular pe aceasta. Coeficientul de efect elastic întîrziat diferă de la un material la altul, depinzînd și de condițiile presării, respectiv de densitatea de presare realizată.

6.4. SINTERIZAREA

Ca proces tehnologic, sinterizarea este un tratament termic realizat în atmosferă controlată, care se aplică semifabricatelor presate, la o temperatură sub cea de topire a componentului principal, prin care se urmărește aglomerarea amestecului de pulberi, mărirea rezistenței mecanice prin majorarea secțiunilor de contact dintre granulele presatului și realizarea unei structuri proprii. În timpul sinterizării au loc și alte transformări, cum sînt: modificarea (creșterea) conductivității electrice (datorită consolidării zonelor de contact între fostele granule ale pulberii); topirea, în unele cazuri, a unui component secundar (la sinterizările cu apariție de fază lichidă); reacții chimice între componenții amestecului de pulberi sau între gazele protectoare și anumiți componenți (ca exemplu reducerea oxizilor de pe suprafața granulelor); recristalizarea; alierea componenților și formarea unui aliaj mai mult sau mai puțin omogen etc.

Datorită complexității fenomenelor și transformărilor care au loc, încă nu s-a putut elabora o teorie generală care să explice mecanismul sinterizării. Într-un corp presat, pe suprafețele de contact metalic dintre granule, acționează atracția dintre atomi, bazată pe forțele Van der Waals (adeziune). Granulele dintr-un corp presat din pulberi metalice formează *un sistem termodinamic instabil,* stare la care contribuie finețea pulberii, rugozitatea suprafețelor granulelor și forma lor neregulată, mult diferită de cea sferică (stabilă), gradul de ecruisare ridicat pe zonele deformate a granulelor, distorsiunile rețelei cristaline la suprafața granulelor etc. În prima etapă a sinterizării, prin încălzire crește energia cinetică și mobilitatea atomilor, care încep să se deplaseze, ocupînd poziții de echilibru mai stabile și astfel realizîndu-se o *restaurare a rețelei cristaline* anterior distorsionate. Apoi începe fenomenul de *difuzie de*

Scanned with OKEN Scanner

suprafață prin deplasarea pe suprafețele granulelor a atomilor cu mobilitate maximă, situați pe părțile proeminente ale granulelor. Astfel începe o netezire a suprafeței granulelor și a suprafeței porilor, precum și o închidere treptată a unor goluri mai mici dintre granule (fig. 6,35). Concomitent începe și *difuzia intergranulară*. La temperaturi mai înalte este predominantă *difuzia de volum*, care are loc în interiorul grăunților cristalini. Cu creșterea temperaturii se accentuează și apariția germenilor noi de cristalizare în zonele puternic ecruisate, prin care începe *recristalizarea* și apoi creșterea grăunților nou formați. În procesul de sinterizare condus la temperaturi înalte, difuzia și recristalizarea sînt mecanisme dominante. Pe lîngă fenomenele amintite, asemănător cu deformarea fețelor geometrice ale cristalelor și rotunjirea vîrfurilor la încălziri mai accentuate, și la sinterizare se pare că are loc o înmuiere a cristalitelor din granule, conducînd la *o curgere vîscoasă* de materie. Apare astfel un transport de materie bazată pe tensiunile superficiale, fiind radical deosebit de fluxul de atomi bazat pe difuzie.

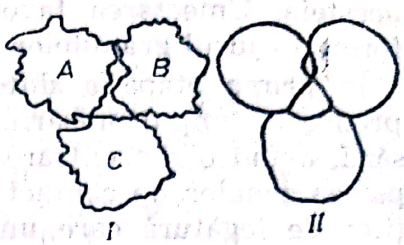


Fig. 6.35. Sinterizarea pulberilor metalice: *I* — înainte de sinterizare; *II* — după începerea procesului de sinterizare.

În timpul sinterizării, uneori poate să apară și un alt tip de transport de materie prin faza gazoasă, cauzat de *evaporări* parțiale, urmate de *condensări* în zona punților de legătură în curs de formare între granule, prin care aceste punți se îngroașă din ce în ce mai mult (fig. 6.36,*a*). Atunci cînd are loc o *sinterizare cu apariție de fază lichidă*, procesul este puternic activat de fenomenul de *dizolvare-precipitare*, accentuîndu-se contracția și creșterea grăunților. Totdeauna numărul atomilor care se dizolvă este mai mare din granulele mici, cu energie superficială mai mare și cu stabilitate mai mică, decît din cele mari, spre care există o tendință puternică de precipitare. Aici un rol important are și *capacitatea de umectare* a fazei lichide, legat direct de tensiunea superficială a

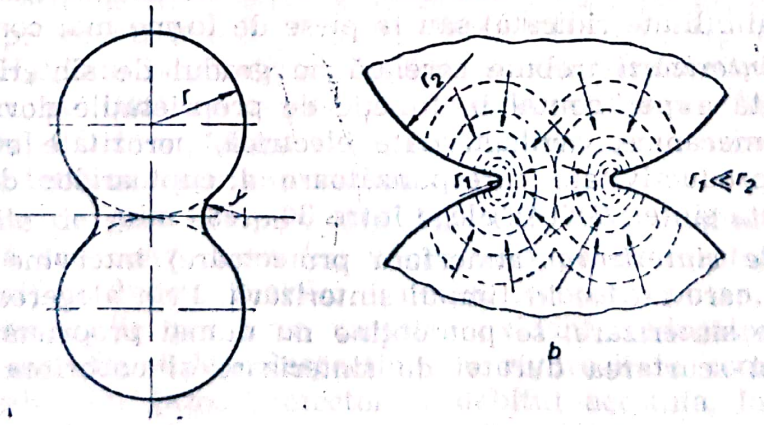


Fig. 6.36. Formarea punților de legătură între granule în timpul sinterizării: *a* — creșterea treptată a secțiunii gîtului și mărirea razei *y* prin care raportul razelor *r*/*y* scade; *b* — zonele cu concentrare maximă de lacune (vacanțe) în rețeaua cristalină și migrarea atomilor spre puntea de legătură.

Scanned with OKEN Scanner

acesteia. Umectarea favorizează realizarea unei rețele continue și uniforme în jurul granulelor componentului solid.

În prima etapă a sinterizării, dispar tensiunile remanente care s-au produs în timpul presării. Granulele venite în contact intim datorită presării, avînd o concentrare mai mare de defecte de rețea (lacune) în apropierea zonelor de contact (fig. 3.36, *b*), își măresc treptat secțiunile punților de legătură care unesc granulele, prin care începe formarea treptată a unui *schelet metalic* în întreaga masă a corpului sinterizat. Astfel, granulele de pulberi își pierd din ce în ce mai mult individualitatea, dispar suprafețele de separații dintre ele, apărînd limitele noilor grăunți (care se formează) și porii. *Structura porilor* se schimbă și ea. Pe lîngă o reducere continuă a porozității, se constată o sferoidizare și o închidere din ce în ce mai accentuată a porilor și o creștere a proporției celor mari, în contul dispariției treptate a celor mici.

Procesul de sinterizare mai este influențat de: prezența impurităților (filme de oxizi la suprafața granulelor, incluziuni, gaze adsorbite și dizolvate, gaze blocate în porii închiși care pot fi eliminate numai prin difuzie prin materialul metalic etc.); formarea soluțiilor solide, a compușilor chimici; efectele transformărilor alotropice și altele, care pot activa sau încetini sinterizarea.

6.4.1. Parametrii tehnologici ai sinterizării

Temperatura de sinterizare este cel mai important parametru, avînd o influență hotărîtoare asupra procesului. Ea trebuie să fie superioară celei de recristalizare, practic fiind situată între 2/3 ... 4/5 din temperatura absolută de topire a componentului principal. Deși temperaturile înalte favorizează procesul de sinterizare, nivelul lor este determinat de tipul cuptorului folosit la sinterizare. Viteza de încălzire, în general, poate fi destul de mare, deoarece piesele, de regulă, sînt mici. Viteza de răcire este bine să fie mai mică, mai ales la sinterizarea materialelor sensibile la răcire (călibilitate ridicată) sau la piese de forme mai complexe.

Durata sinterizării trebuie corelată cu gradul de sinterizare urmărit, fiind stabilită experimental în funcție de proprietățile dorite (structură, proprietăți mecanice, conductivitate electrică, porozitate etc.). Pentru a asigura o productivitate corespunzătoare a cuptoarelor de sinterizare, practic durata sinterizării se alege între 30 ... 80 min.

Mediul de sinterizare (atmosfera protectoare) intervine în procesele superficiale care au loc în timpul sinterizării. Prin alegerea judicioasă a mediului de sinterizare, se pot obține nu numai proprietăți superioare, dar chiar și scurtarea duratei de sinterizare și coborîrea temperaturii de lucru.

Din punct de vedere chimic, mediul protector poate fi reducător, neutru, oxidant sau carburant. Se preferă *mediile gazoase*, care se vehiculează continuu prin spațiul de lucru al cuptorului de sinterizare, reușind astfel să se mențină un echilibru termo-chimic și să se asigure o calitate constantă a produselor.

Scanned with OKEN Scanner

6.4.2. Medii de sinterizare

Cele trei faze ale sinterizării și anume încălzirea la temperatura prescrisă, menținerea la temperatura de sinterizare și răcirea pînă aproape de temperatura ambiantă, trebuie să fie realizate în atmosferă protectoare, deoarece majoritatea produselor presate din pulberi metalice, avînd o suprafață specifică foarte mare și o porozitate deschisă, se oxidează ușor și nu numai la suprafață, ci și în adîncime, în tot volumul lor.

Mediile neutre, constituite din *argon*, sau atunci cînd nu reacționează cu materialul semifabricatului din *azot*, se utilizează în acele cazuri în care se folosesc pulberi lipsite de oxizi și aceste pulberi, respectiv elementele de încălzire ale cuptoarelor de sinterizare, ar putea să reacționeze cu mediile de sinterizare active chimic. Utilizarea acestor medii este comodă și lipsită de pericole de explozie sau de intoxicație a muncitorilor.

Mediile reductoare sînt cele mai des folosite, deoarece pulberile metalice frecvent utilizate (Fe, Cu, Al, Sn, bronz etc.), pe de o parte se oxidează ușor în timpul sinterizării, pe de altă parte pot să conțină deja înainte de presare cantități mai mari de oxigen (oxizi), provenite din elaborare sau din depozitare și manipulare necorespunzătoare. Cele mai bune și mai utilizate medii reducătoare sînt: hidrogenul, amoniacul disociat și hidrocarburile convertite sau arse parțial. *Hidrogenul* este cel mai activ și poate fi de cea mai mare puritate, dar prezintă un *pericol* ridicat *de explozie* (nu poate fi utilizat în cuptoarele mari) și este scump. Se utilizează la sinterizarea metalelor scumpe și sensibile: W, Mo, aliaje dure, materiale magnetice, contacte electrice etc. La pretenții mari H_2 se obține în instalații de electroliză a apei. *Amoniacul disociat* se prepară prin disociere termică pe un catalizator de Ni (fig. 6.37), are un caracter reducător foarte bun (conținînd 75% H_2 și 25% N_2) și prezintă un pericol de explozie mai mic față de hidrogen. Dintr-o butelie normală (40 litri) de amoniac lichid se obțin 56 m^3 gaz protector, de 10 ori mai mult ca dintr-o butelie de H_2. *Gazul metan ars parțial* este de 10 ori mai ieftin decît hidrogenul și se prepară în reactoare umplute cu catalizator de Ni, în amestec intrînd la 1 m^3 de CH_4 numai 2,5 m^3 de aer în loc de 10, cît este necesar pentru arderea completă a metanului (fig. 6.38). Compoziția aproximativă este: 40% H_2; 20% CO; 38% N_2; sub 1% CO_2 și sub 1% CH_4. Este larg utilizat la sinterizarea produselor pe bază de fier, respectiv pe bază de cupru. În amestec cu aerul fiind exploziv și componentul CO fiind foarte toxic, se impune luarea măsurilor corespunzătoare de tehnica securității muncii.

Amestecurile de gaze compuse din H_2, CO, CO_2, obținute prin arderea parțială sau convertirea (cu vapori de apă în reactoare umplute cu catalizatori) a hidrocarburilor (metan, propan, butan, petrol), în funcție de compoziție pot avea caracter oxidant, reducător, carburant sau decarburant (fig. 6.39). Respectînd cu rigurozitate compoziția prescrisă a amestecului gazos protector și debitul acestuia, în funcție de temperatura de sinterizare, compoziția și cantitatea încărcăturii care trece prin cuptor, se pot obține efectele dorite.

Vidul ca mediu de sinterizare se preferă pentru puritate, la materialele sensibile la oxidare. Este ușor de manipulat, fără pericol de explozie sau intoxicare, de mare puritate și relativ ieftin.

Scanned with OKEN Scanner

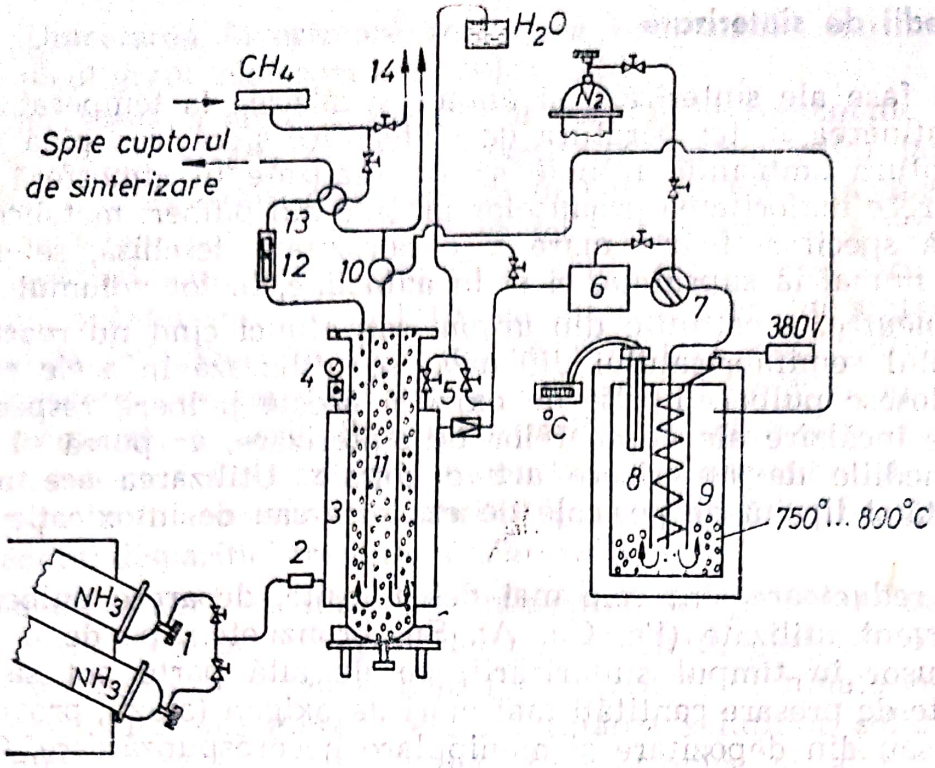


Fig. 6.37. Schema instalației de disociere a amoniacului: *1* — reductor de presiune; *2* — ventil; *3* — vaporizator; *4* — manometru; *5* — ventil de siguranță; *6* — bloc automat de comutare a gazelor; *7* — comutare manuală a gazelor; *8* — disociator; *9* — catalizator; *10* — robinet; *11* — uscător cu silicagel; *12* — debitmetru (rotametru); *13* — comutator de gaze; *14* — flacără de veghe.

Impuritățile cele mai *dăunătoare* ale atmosferelor protectoare sînt oxigenul și vaporii de apă. Eliminarea lor cît mai avansată, înainte de utilizare, se face prin metode corespunzătoare condițiilor impuse: *pentru oxigen* trecere peste așchii de Cu la 500...550°C (oxidarea catalitică a H_2 cu urmele de O_2 la H_2O, urmată de uscare); *pentru uscare* răcirea la temperaturi suficient de scăzute (condensarea vaporilor de apă) sau folosirea turnurilor de uscare umplute cu silicagel, sau pentru o uscare foarte avansată prin folosirea, ca absorbant, a pentoxidului de fosfor. Practic conținutul de vapori de apă se exprimă prin *punctul de rouă* a mediului de sinterizare (care trebuie să fie, de cele mai multe ori, cu puțin sub 0°C, iar la pretenții mari între —20...—50°C).

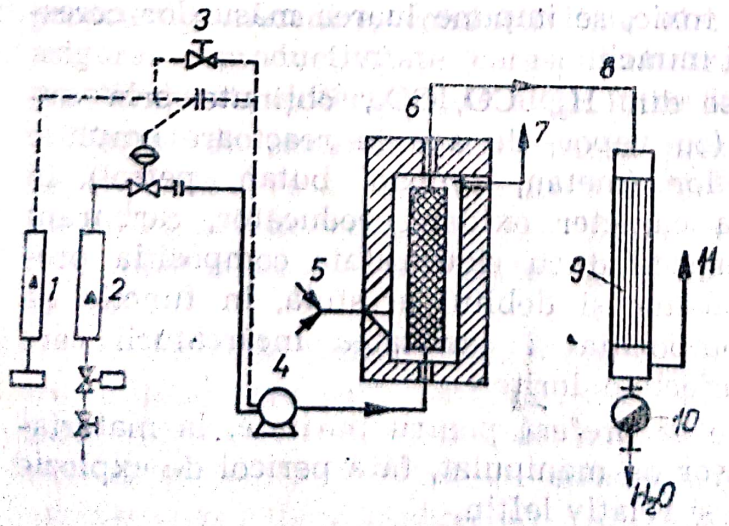


Fig. 6.38. Instalație de ardere parțială a gazului metan: *1* — rotametru pentru aer; *2* — rotametru pentru gaz metan; *3* — robinet; *4* — pompă de circulație; *5* — arzător de încălzire; *6* — reactor; *7* — gaze arse spre coș; *8* — conductă de gaz protector; *9* — răcitor de condensare a umidității; *10* — apă condens spre canal; *11* — rețea de distribuție a atmosferei protectoare spre cuptoarele de sinterizare.

Scanned with OKEN Scanner

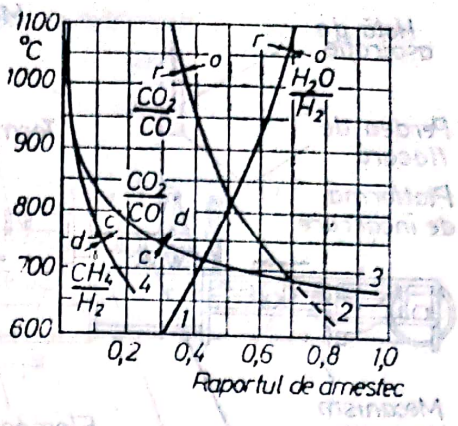


Fig. 6.39. Efectul raportului de amestec CO_2/CO și H_2O/H_2, precum și a temperaturii, asupra unor produse din oțel carbon: *o* — oxidant; *r* — reducător; *d* — decarburant; *c* — carburant.

6.4.3. Utilaje de sinterizare

Ele sînt formate din *cuptoarele de sinterizare* de diferite tipuri și din *instalațiile de preparare a mediilor protectoare* de sinterizare. Cuptoarele trebuie să se caracterizeze prin: temperaturi de lucru optime în fiecare zonă, reglabile, constante și riguros controlabile; viteze de încălzire și răcire reglabile; alimentare continuă cu gaze de protecție, chiar și în condițiile unui proces continuu de alimentare și evacuare a produselor; siguranță mare în funcționare; productivitate ridicată; consum redus de energie. Pe baza sistemului de încălzire pot fi: cu gaz (cu flacără, care sînt utilizate foarte rar) sau cu încălzire electrică cu rezistență (tab. 6.2), respectiv cu inducție. După modul de funcționare pot fi cu alimentare continuă sau discontinuă.

Tabelul 6.2

Temperatura maximă de lucru a cuptoarelor de sinterizare în funcție de natura elementelor de încălzire

Elemente de încălzire	Temperatura maximă de lucru [°C]
Crom—nichel	950
Tantal A	1150
Silită	1350
Molibden	1800
Wolfram	2200
Carbon	2800

Cuptoarele tubulare cu bandă transportoare (fig. 6.40) au regim continuu de funcționare, o productivitate foarte ridicată, asigurînd produselor o calitate și o uniformitate deosebit de bună, sînt larg utilizate în producția de serie mare. Banda din țesătură metalică termorefractară *se deplasează cu viteză constantă și fin reglabilă*. Excesul de gaze protectoare introduse în cuptor iese prin spațiul liber de sub ușile de la capetele cuptorului și, arzînd continuu, formează cele două *perdele de flacără*, care împiedică intrarea aerului și formarea unui amestec exploziv în cuptor. Fiecare instalație este prevăzută cu un sistem complex de măsurare, reglare automată și înregistrare a temperaturilor din diferitele zone de lucru, de măsurare și reglare a debitelor și presiunilor de gaze, de semnalizare și avertizare a deranjamentelor eventual apărute.

Scanned with OKEN Scanner

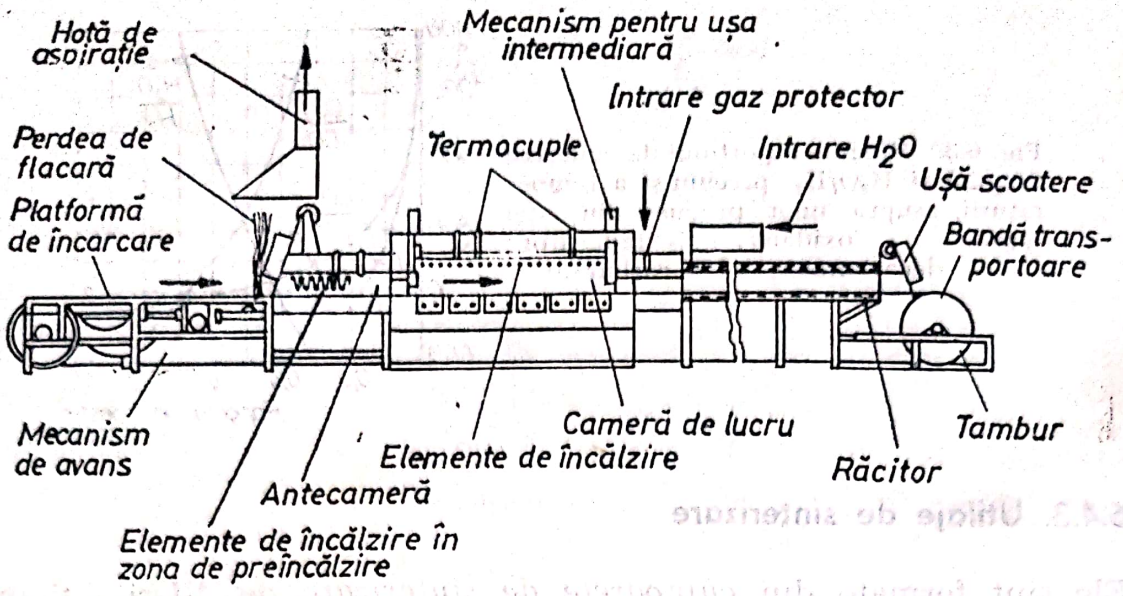


Fig. 6.40. Cuptor tubular de sinterizare cu bandă transportoare cu trecere continuă, cu două zone de încălzire și o zonă de răcire.

Cuptoarele tunel cu role transportoare, respectiv *cu vatră păşitoare* au o funcțiune similară cu cea a cuptoarelor cu bandă, dar sînt construite pentru sinterizarea pieselor mijlocii și mari.

Variația temperaturii de-a lungul acestor cuptoare multizonale este dată în figura 6.41.

Cuptoarele clopot (fig. 6.42) se utilizează pentru sinterizarea pieselor mari și a discurilor de fricțiune. Unele tipuri pot lucra și sub sarcină

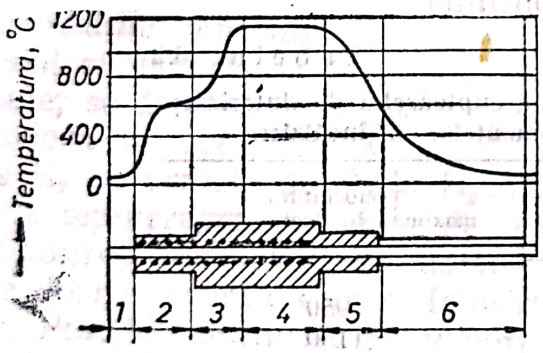


Fig. 6.41. Variația temperaturii de-a lungul unui cuptor tunel: *1* — zonă de alimentare; *2* — zonă de preîncălzire și destearizare; *3* — zonă de încălzire; *4* — zonă de sinterizare; *5* — zonă de răcire lentă; *6* — zonă de răcire finală (cu apă de răcire).

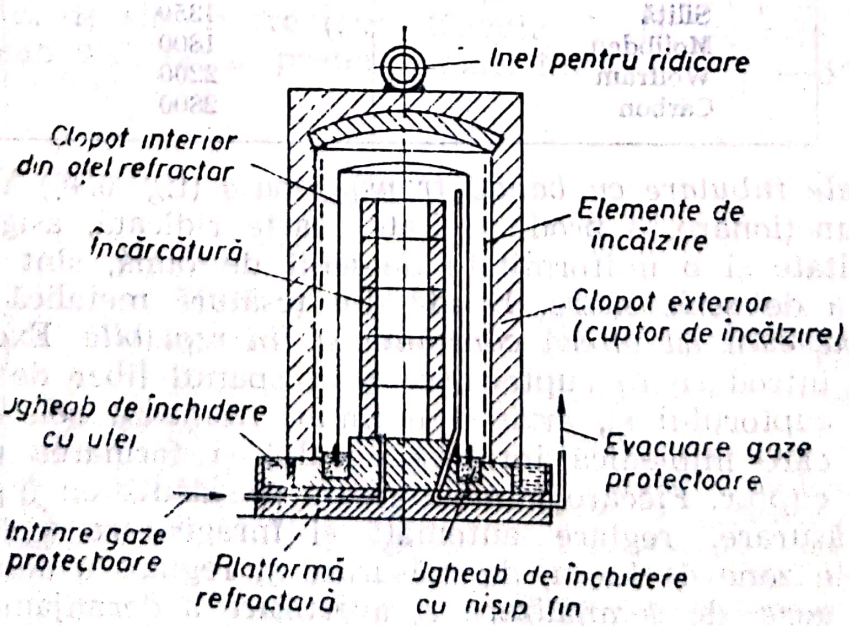


Fig. 6.42. Cuptor de sinterizare tip clopot (cu încălzire indirectă).

Scanned with OKEN Scanner

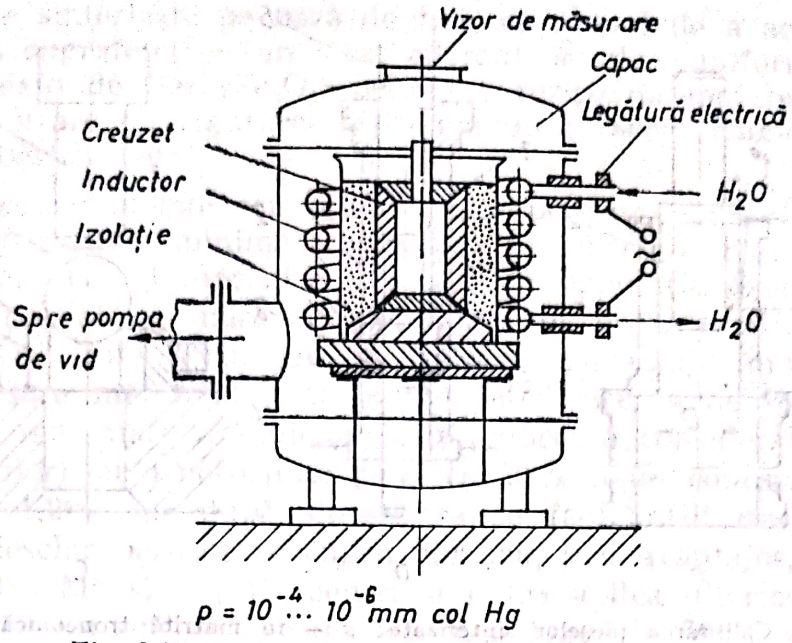


Fig. 6.43. Cuptor cu inducție și incintă vidată.

de apăsare (sinterizare sub presiune). O instalație cuprinde 3...4 platforme refractare, același număr de clopote interioare și un singur clopot exterior de încălzire. Încărcătura este acoperită cu un clopot de tablă refractară sub care circulă atmosfera controlată. Peste ansamblul astfel pregătit se așază cuptorul clopot propriu-zis, care este la temperatura maximă, fiind adus de pe o altă platformă, unde s-a terminat perioada de sinterizare și tocmai începe perioada de răcire, care este destul de rapidă datorită plecării clopotului de încălzire. Deoarece cele trei platforme de lucru, care se află în diferite faze ale ciclului, își schimbă rolul periodic prin permutare circulară, instalația are o productivitate destul de ridicată, deși are un regim de funcționare discontinuă.

Cuptoarele cu inducție asigură încălziri rapide și realizarea unor temperaturi chiar foarte ridicate. Ele pot utiliza ca medii de sinterizare atît vidul (fig. 6.43), cît și celelalte medii gazoase.

Cuptoarele cu tub de grafit (tip Tammann) pot fi utilizate la temperaturi foarte ridicate, pînă la 3000°C (fig. 6.44).

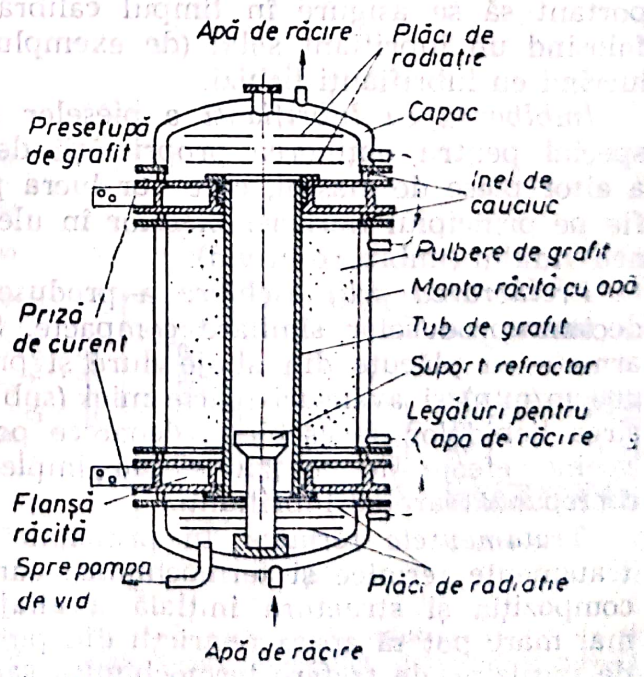


Fig. 6.44. Cuptor cu tub de grafit (tip Tammann) cu incintă vidată (încălzire prin rezistență a tubului de grafit).

6.4.4. Operațiile complementare aplicate produselor sinterizate

La unele produse, după operația de sinterizare, se aplică una sau mai multe operații complementare, cu scopul de a îmbunătăți unele proprietăți ale

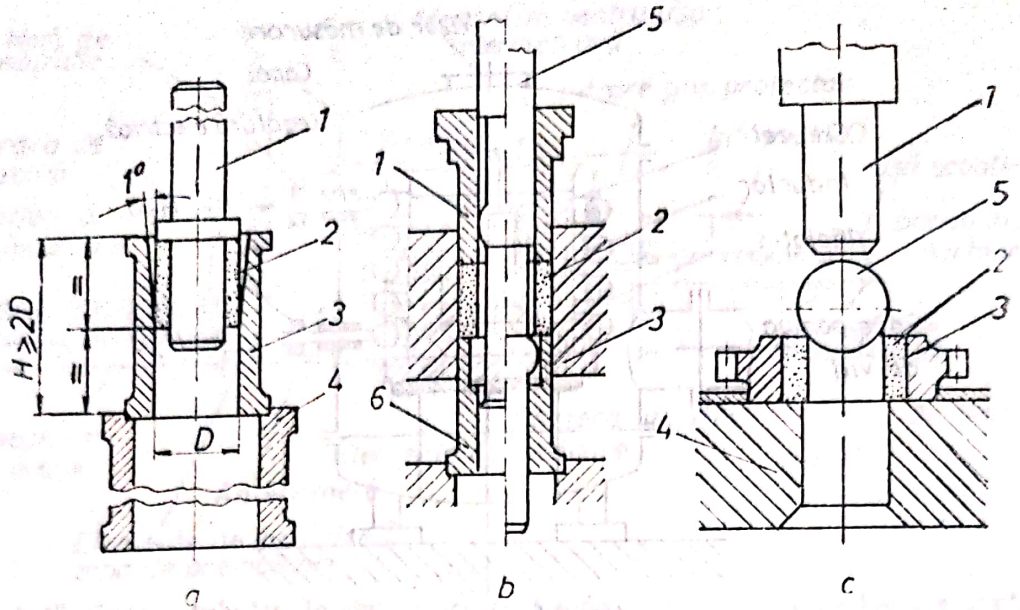


Fig. 6.45. Calibrarea pieselor sinterizate: *a* — în matriță tronconică, pentru dimensiunile exterioare; *b* — cu dorn, pentru dimensiunile interioare; *c* — cu bilă, pentru dimensiunile alezajului; *1* — poanson de împingere axială; *2* — piesa de calibrat; *3* — matriță de calibrare; *4* — piesă de sprijin; *5* — calibru pentru alezaj; *6* — poanson inferior și de ejectare (scoatere).

materialului sinterizat, de a mări precizia formei și a dimensiunilor, de a îmbunătăți calitatea suprafețelor, de a realiza unele ajustări de formă prin așchiere (filetări, găuri transversale pe direcția de presare, degajări transversale etc.).

Calibrarea, care constă dintr-o presare cu modificare de volum efectuată în matrițele de calibrare, se aplică atunci cînd se cere o precizie dimensională mare. În figura 6.45 sînt prezentate cîteva tipuri de calibrare, atît pentru contururi exterioare, cît și pentru alezaje. Este important să se asigure în timpul calibrării o ungere cît mai bună, fie folosind un lubrifiant solid (de exemplu MoS_2 depus prin barilare), fie lucrînd cu lubrifianți lichizi.

Îmbibarea cu lubrifianți a pieselor sinterizate poroase se aplică în special pentru obținerea proprietății de autolubrifiere a lagărelor sau a altor piese de mașini, care vor lucra prin frecare. Instalațiile lucrează fie pe principiul fierberii pieselor în ulei, fie folosind ulei cald și acțiunea vidului (îmbibare în vid).

Prelucrarea prin așchiere a produselor sinterizate este mai dificilă decît a produselor similare compacte. Se recomandă folosirea sculelor armate cu plăcuțe din aliaje dure și prelucrarea cu viteze mari (80 ... 300 m/min) și avansuri foarte mici (sub 0,3 mm/rot). Nu se indică folosirea lichidelor de așchiere, deoarece pot pătrunde în porii piesei, provocînd efecte de coroziune sau împiedicînd realizarea unei îmbibări corespunzătoare cu lubrifianți.

Tratamentele termice. În principiu se pot aplica toate tipurile de tratamente termice și termochimice cunoscute care sînt compatibile cu compoziția și structura inițială a aliajului sinterizat. La o porozitate mai mare pot să apară restricții din punct de vedere al mediilor lichide de încălzire, de tratare termochimică sau de răcire, neputîndu-se aplica, de exemplu, încălzirea în băi cu săruri topite. Un tratament termochimic obișnuit este cel cu vapori de apă supraîncălziți, aplicat uneori

Scanned with OKEN Scanner

la produsele sinterizate pe bază de fier, cu scopul de a acoperi pereții porilor și a suprafeței cu un strat aderent, subțire, uniform, însă dens și dur de oxid de fier (Fe_3O_4) pentru o rezistență mai bună la coroziune și la uzare și asigurarea ieftină a unui aspect frumos, o culoare omogenă albastru-negru.

Infiltrarea cu metale sau aliaje topite permite obținerea unor produse cu o porozitate minimă (compactitatea putînd fi majorată pînă la 98,9%) și proprietăți mecanice deosebit de bune. Ca exemplu, pentru piesele de mașini de mare rezistență se pot presa semifabricatele cu presiuni relativ mici (prin care se realizează avantaje importante: utilaje de presare mai mici, mai puțin costisitoare, scule mai ieftine, o durabilitate mai mare a sculelor prin reducerea considerabilă a uzărilor și ruperilor) cu o porozitate de circa 20% și un conținut de carbon între 0,4 ... 1,2%, iar după sinterizare se face infiltrarea la 1100 ... 1120°C a pieselor poroase cu cupru pur sau, mai avantajos, cu un aliaj de Cu cu 8% Mn și 2% Fe pentru a putea aplica ulterior o călire la 870°C în ulei, urmată de o menținere mai lungă la 500°C pentru revenirea scheletului de oțel carbon și durificarea prin precipitare a aliajului de cupru, care umple porii materialului. Astfel se ajunge la un material foarte tenace, rezistent la uzare, cu o duritate ridicată și o rezistență foarte mare la tracțiune (peste 650 N/mm²), care totuși are și o alungire însemnată și o plasticitate bună. Pentru materiale similare, infiltrate însă cu cupru pur (fără Mn), în figura 6.46 se dau principalele proprietăți în funcție de conținutul de Cu. Dintre posibilitățile de realizare a infiltrărilor cu topituri metalice a materialelor sinterizate poroase, în figura 6.47 se prezintă trei variante. Tot prin această tehnologie se fabrică unele sortimente de contacte electrice W-Cu, unde se presează și se sinterizează un schelet metalic poros de wolfram, care apoi este infiltrat cu topitura de cupru.

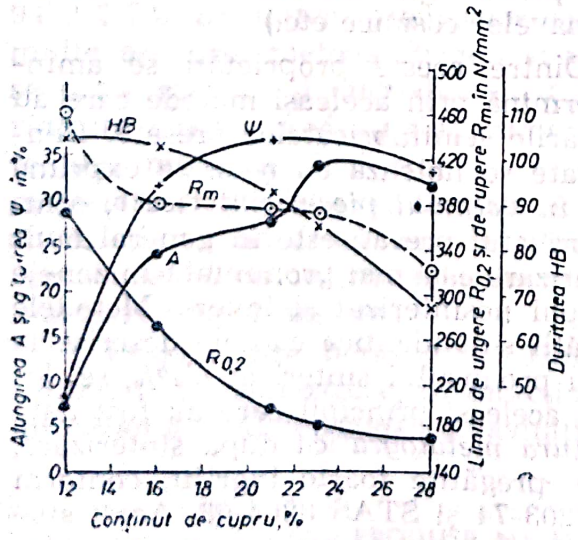


Fig. 6.46. Variația proprietăților materialului sinterizat cu bază de fier, în funcție de conținutul de cupru.

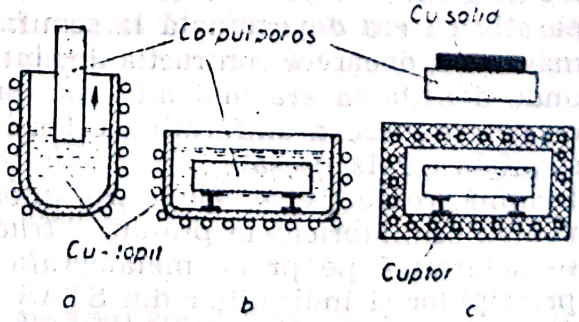


Fig. 6.47. Variante de infiltrare cu metale și aliaje topite a pieselor sinterizate poroase: *a* — prin absorbție; *b* — prin scufundare; *c* — prin așezarea unei pastile de cupru pe piesa presată sau presinterizată.

Scanned with OKEN Scanner

6.4.5. Proprietățile materialelor și produselor sinterizate

Proprietățile materialelor sinterizate pot fi variate după dorință între limite foarte largi, aceasta reprezentînd unul din avantajele principale ale metalurgiei pulberilor. Factorii cei mai importanți, de care depind aceste proprietăți, sînt următorii: compoziția chimică a aliajului sau pseudoaliajului; proprietățile pulberilor metalice, determinate prin alegerea metodei de fabricație (compoziția granulometrică, forma granulelor, structura și calitatea suprafeței particulelor de pulbere etc.); condițiile presării (presiunea aplicată, caracterul presării, adică unilaterală sau bilaterală, calitatea și cantitatea lubrifiantului de presare etc.); condițiile sinterizării (temperatura și durata sinterizării, mediul de sinterizare etc.); operațiile complementare aplicate după sinterizare (calibrare, represare și resinterizare, îmbibare cu lubrifianți, tratamente termice și termochimice, îmbibare cu metale și aliaje topite etc.).

La studiul proprietăților materialelor și produselor sinterizate, trebuie să se țină seama de particularitățile acestora, prin care ele se disting de produsele compacte, obținute, de obicei, prin tehnologiile clasice de turnare, forjare, laminare, extrudare etc. și prelucrare obligatorie prin așchiere. Materialele sinterizate pot prezenta proprietăți mecanice, tehnologice, termice, electrice și magnetice deosebite, neîntîlnite sau foarte greu realizabile la materialele obținute pe alte căi. Aceste proprietăți pot fi împărțite în trei grupe, după cum urmează: chimice, fizico-mecanice și tehnologice.

a. Proprietățile chimice. La materialele sinterizate se poate respecta cu o precizie neobișnuit de mare *compoziția chimică*. *Puritatea* și compoziția chimică a acestor materiale se determină prin metodele cunoscute și aplicate în mod curent în industria metalurgică. *Rezistența la coroziune* se determină tot după metodele clasice cunoscute. *Rezistența la oxidare la temperaturi ridicate* are o importanță deosebită la multe produse sinterizate refractare (elementele de încălzire ale cuptoarelor electrice, paletele sinterizate de turbine, piesele speciale ale motoarelor cu reacție și ale rachetelor, respectiv ale navelor cosmice etc.).

b. Proprietățile fizico-mecanice. Dintre aceste proprietăți se amintește *densitatea aparentă*, care se determină prin aceleași metode care au fost descrise la proprietățile și încercările semifabricatelor presate. Densitatea aparentă a corpurilor sinterizate se notează cu ϱ și se exprimă tot în g/cm³. *Uniformitatea densității în volumul piesei sinterizate*, comparativ cu cea determinată la semifabricatul presat, este în general mult mai mare, deoarece contracția de sinterizare este mai pronunțată în zonele unde densitatea era mai mică în corpul nesinterizat și invers. Metodele de determinare a uniformității densității sînt identice cu cele descrise la semifabricatele presate. *Compactitatea* produsului sinterizat $C_s\%$, se determină, respectiv se calculează, după aceleași principii care au fost date pentru semifabricatele presate. *Structura metalografică* după sinterizare, se determină pe probe metalografice, pregătite foarte îngrijit, conform principiilor și indicațiilor din STAS 4203-74 și STAS 8264-68. Acest studiu metalografic, completat cu măsurători de microduritate, permite determinarea mărimii, formei și distribuției porilor, determinarea prezenței, naturii și formei incluziunilor, mărimii și distribuției grăunților fazelor prezente în materialul sinterizat. În cercetările mai pretențioase, mai pot fi aplicate și metodele de analiză cu indicatori radioactivi, microradio-

Scanned with OKEN Scanner

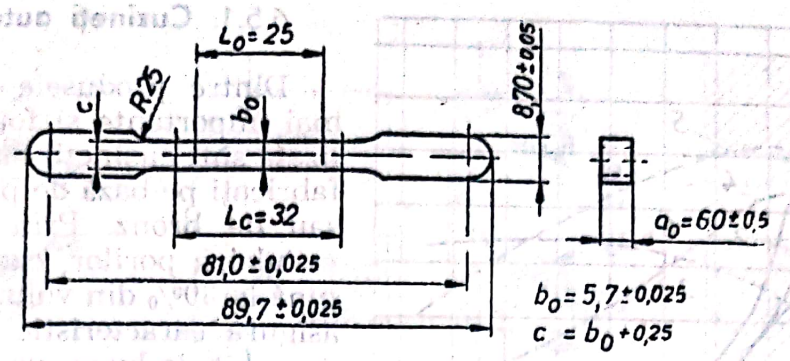


Fig. 6.48. Expruveta standardizată de tracțiune, care se obține prin presare și sinterizare.

grafia, microscopul electronic, sondajul electronic sau cu raze X și altele. *Conductivitatea electrică* se determină după principiile descrise la controlul semifabricatelor presate, respectînd prescripțiile din STAS 9472/6-73. *Conductivitatea termică* are o însemnătate mare la materialele de fricțiune, de contacte electrice, la aliajele dure și altele. Metodele de determinare aplicate nu diferă de cele cunoscute și folosite în cazul materialelor metalice compacte. *Proprietățile mecanice* depind în cea mai mare măsură de porozitatea materialului sinterizat (fig. 6.1). Scăderea rezistenței la tracțiune se explică prin micșorarea secțiunii reale de rupere datorită prezenței porilor și prin efectul de crestătură cauzat de pori, la care se mai adaugă, la unele materiale, și influența componenților nedifuzați în scheletul metalic (de exemplu grafitul). *Încercarea la tracțiune* a produselor din pulberi metalice sinterizate este standardizată în STAS 8266-74. Epruvetele utilizate se obțin, fie prin presare în matriță a pulberii (fig. 6.48), fie prin prelucrare din produsul sinterizat. Se cere calcularea mediei aritmetice a 5 determinări pe 5 epruvete. *Rezistența la compresiune* se determină după metoda cunoscută. *Încercarea la încovoiere* a materialelor sinterizate se execută conform STAS 8265-79 și 9472/2-74. *Duritatea* produselor sinterizate se determină, de cele mai multe ori, prin metoda Brinell și uneori prin metoda Rockwell. Paralel se poate măsura și *microduritatea. Proprietățile mecanice la temperaturi ridicate* a unor produse sinterizate devin din ce în ce mai importante în tehnica modernă. Mai sînt o serie de *proprietăți particulare* ale unor materiale și produse sinterizate (ca exemplu se amintesc proprietățile antifricțiune, de fricțiune, de filtrare, proprietățile specifice cerute la contactele electrice, materialele magnetice, materialele speciale pentru reactoarele nucleare etc.).

c. *Proprietățile tehnologice.* Dintre acestea se amintește aici numai *contracția de sinterizare,* în direcția presării și perpendicular pe aceasta, importantă la dimensionarea cavității matrițelor de presare.

6.5. PRODUSE ALE METALURGIEI PULBERILOR

Cîteva exemple de materiale și produse obținute prin metalurgia pulberilor vor permite conturarea și mai clară a posibilităților acestei tehnologii moderne.

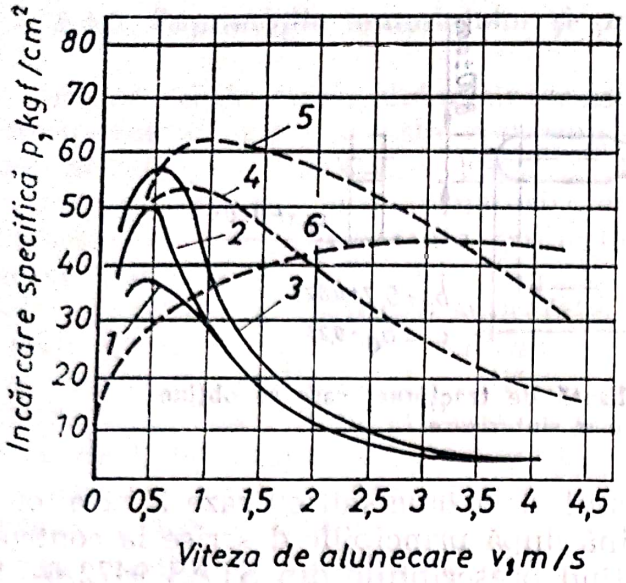


Fig. 6.49. Variația încărcării admisibile în funcție de viteza de alunecare la diferite materiale folosite pentru fabricarea lagărelor de alunecare: *1* — bronz poros; *2* — material sinterizat Fe-grafit; *3* — material sinterizat Fe—Cu—grafit; *4* — material sinterizat Fe—grafit, cu ungere prin fitil; *5* — material sinterizat Fe—grafit, cu ungere prin circulație permanentă; *6* — bronz compact (turnat), cu ungere prin picurare.

6.5.1. Cuzineți autolubrifianți

Dintre produsele poroase cele mai importante și foarte larg utilizate sînt cuzineții autolubrifianți, fabricați pe bază de pulberi de fier sau de bronz. Prin impregnarea cu ulei a porilor, care pot ajunge pînă la 30% din volumul piesei, se asigură caracteristici funcționale deosebit de bune: un coeficient de frecare redus, o rezistență bună la uzare și tendință mică la gripare, o întreținere foarte ușoară, o funcționare silențioasă și o însemnată economie de lubrifiant. Fiind ieftin, putînd lucra ani de zile fără nici o supraveghere sau întreținere, chiar în medii cu impurități, au reușit să înlocuiască în multe domenii rulmenții scumpi și mult mai sensibili.

Valoarea coeficientului de frecare la aceste lagăre este în limitele 0,004 . . . 0,1. Variația încărcării admisibile în funcție de viteza de alunecare pentru lagărele, autolubrifiante, în comparație cu cele turnate, este dată în figura 6.49. La condiții mai grele de încărcare trebuie asigurată și o ungere suplimentară, iar dacă sînt și solicitări termice, se adaugă lubrifiant solid (grafit, MoS_2 etc.). Materialele sinterizate obișnuite, cu baza de fier, au o porozitate de 20 . . . 30% și conțin 0,5 . . . 1,5% grafit și 3 . . . 12% cupru. Cele pe bază de cupru sînt bronzuri sinterizate cu circa 1% grafit. Cîteva soluții constructive pentru folosirea bucșelor autolubrifiante sînt date în figura 6.50.

6.5.2. Filtre și electrozi poroși sinterizați

Filtrele sinterizate sînt utilizate pentru filtrarea diferitelor lichide și gaze, ca plăci repartizoare pentru paturi fluidizate și în transportul pneumatic, precum și ca plăci opritoare de flacără și de explozii în instalațiile de sudură cu gaze și în alte domenii. Ele au o porozitate fină și uniformă, reglabilă între limite foarte largi (25 . . . 50%) prin modificarea tehnologiei de fabricație, prezintă avantajele unei rezistențe mecanice foarte bune, a unei rezistențe la temperaturi ridicate, iar dacă sînt fabricate din metale și aliaje adecvate, se asigură și o rezistență corespunzătoare la coroziune. De obicei sînt fabricate din pulberi de bronz cu granule sferice, iar pentru utilizări deosebite, din pulberi de oțel, oțel inoxidabil, monel, nichel, wolfram, molibden etc. În ultimul timp au fost utilizate și pulberi cu forma granulelor neregulată sau din fibre metalice, realizîndu-se porozități de 70% și chiar mai mari, în detrimentul rezistenței mecanice și a uniformității porilor.

Scanned with OKEN Scanner

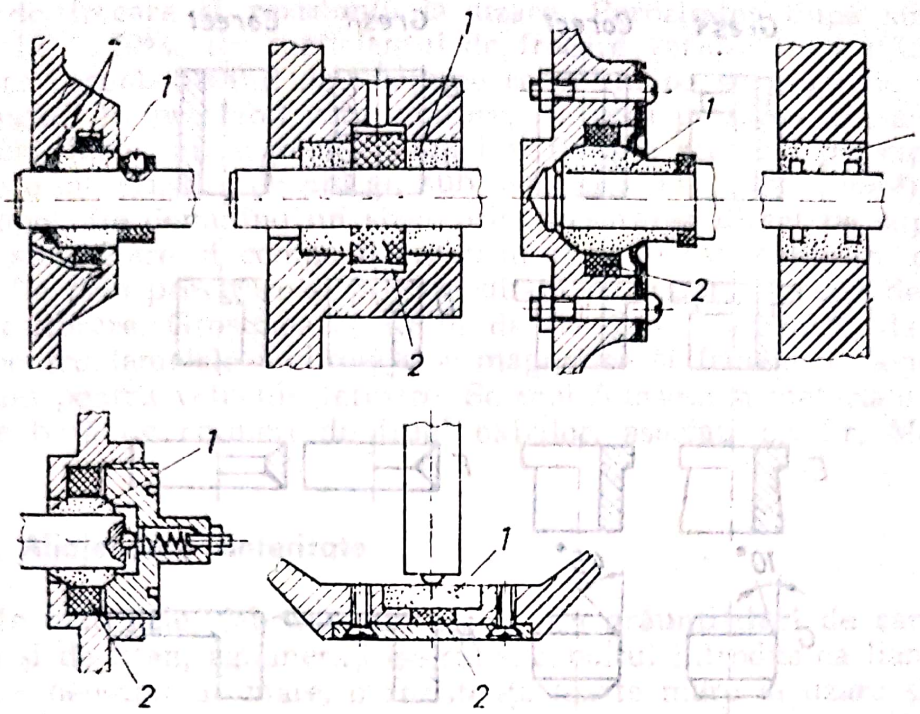


Fig. 6.50. Soluții constructive pentru montarea bucșelor autolubrifiante sinterizate: *1* — bucșa sinterizată poroasă infiltrată cu ulei; *2* — inele de pîslă cu rezervă suplimentară de ulei.

Electrozii poroși au devenit de neînlocuit în fabricarea bateriilor de acumulatoare și a pilelor electrice moderne. Sînt fabricate sub formă de plăci, cu grosimea, de obicei, sub 1 mm. Natura pulberilor metalice utilizate depinde de compoziția electrolitului, fiind cele mai folosite pulberile de Ni și Ag cu granulația de ordinul a 2 . . . 10 μm. Pot avea o porozitate pînă la 70%.

6.5.3. Piese sinterizate de mașini

O mare varietate de piese de rezistență pentru construcția de mașini sînt fabricate din pulberi metalice, urmărind, prin alegerea corespunzătoare a parametrilor de fabricație, reducerea la minimum a porozității pentru asigurarea unor proprietăți mecanice ridicate. În primul rînd la aceste produse sinterizate se aplică *metodele,* arătate în cele de mai sus, *de îmbunătățire a preciziei și a rezistenței mecanice* (utilizarea unor pulberi de calitate superioară, optimizarea tuturor parametrilor de presare și de sinterizare, dublă presare, calibrare, aliere, tratamente termice, infiltrare cu alt metal topit, mai nou aplicarea sintermatrițării etc.), deschizînd largi și noi domenii de utilizare, în special materialelor sinterizate feroase. Cei mai mari consumatori de piese sinterizate sînt industria de automobile (peste 50%), industria pentru utilaje electrocasnice (20%) și de mașini de birou (10%). Fabricarea acestor piese este deosebit de rentabilă dacă ele nu au dimensiuni prea mari (greutatea lor fiind mult sub 1 kg și numai rare ori peste 2 kg) și se cer într-un număr cît mai mare, de ordinul zecilor și sutelor de mii sau chiar al milioanelor de bucăți pe an. Piesele tipice sînt: bucșe, came, pîrghii, came cu sector

Scanned with OKEN Scanner

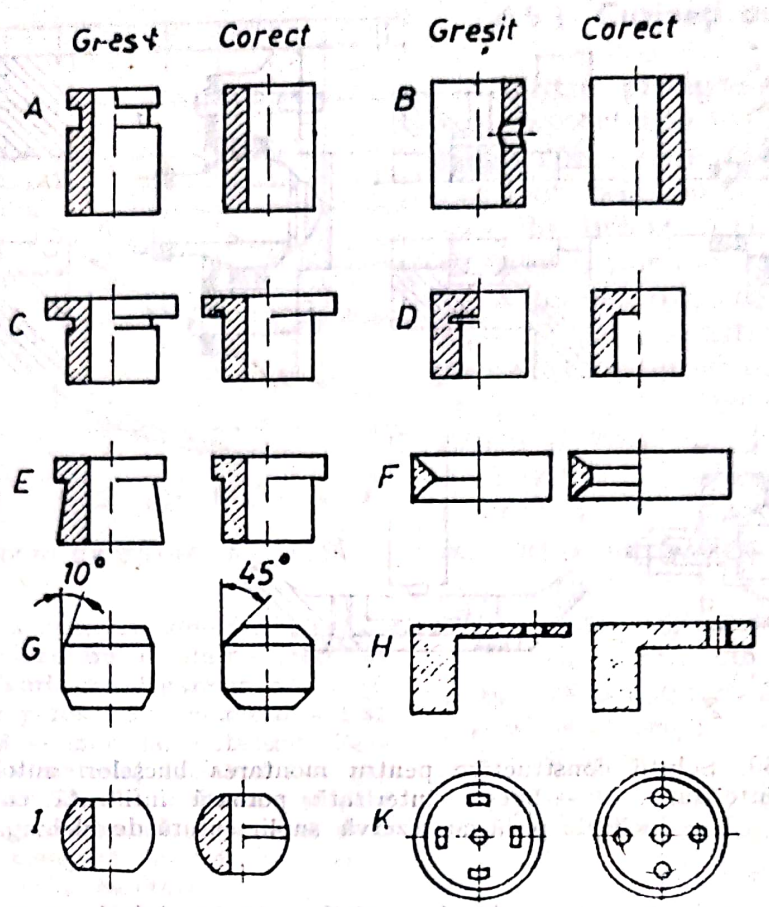


Fig. 6.51. Proiectarea formelor raționale ale pieselor sinterizate de mașini.

dințat, roți dințate cilindrice și conice, roți de lanț, palete, pistoane, segmenți de pistoane, piese polare etc. La proiectarea acestor piese trebuie să se țină seama de particularitățile tehnologiei metalurgiei pulberilor. În figura 6.51 se dau comparativ cîteva exemple de forme raționale și tehnologice în raport cu soluții greșite și netehnologice.

6.5.4. Materiale de fricțiune

Utilizate ca garnituri pentru frînele și ambreiajele moderne, de mare capacitate și cu volum (gabarit) cît mai redus, materialele de fricțiune sinterizate asigură un coeficient de frecare ridicat, o bună conductivitate termică, o rezistență mare la uzare, un coeficient mic de dilatare și suportă temperaturi foarte mari, ceea ce garantează obținerea unor rezultate deosebit de bune și constante în exploatare. Aceste materiale complexe, cu bază de fier, cupru sau bronz, conțin pînă la 35% componenți nemetalici (grafit, SiO_2, Al_2O_3, carbură de siliciu, azbest etc.). Cuprul adăugat mărește conductivitatea termică și facilitează lipirea prin sinterizare a amestecului pe suportul de oțel al discurilor și lamelelor, plumbul și grafitul măresc gradul de adaptabilitate la formă (rodaj), îmbunătățesc rezistența la uzare și micșorează tendința de gripare, concomitent cu asigurarea unei cuplări sau frînări line, fără șocuri. Silicea, alumina, carbura de siliciu și azbestul, ca materiale de umplutură, măresc coefi-

Scanned with OKEN Scanner

cientul de frecare și rezistența la uzare. Porozitatea după sinterizare este de 12 ... 20%, iar coeficientul de frecare variază între 0,15 ... 0,50 la frecare uscată. Stratul de fricțiune se aplică pe suportul de tablă de oțel, pregătit în prealabil prin cuprare, fie prin presarea din amestec a unor plăci, inele sau segmenți subțiri și fixarea acestora pe suporți urmată de o sinterizare, de obicei, sub sarcină (100 ... 140 N/cm²) în cuptoare clopot, fie depunînd un strat prin presărarea direct pe suport, urmat de sinterizare și compactizare prin presare sau calibrare dinamică (lovire), fie prin presărare și presare direct pe suport, urmată de sinterizare și calibrare. Grosimea stratului de fricțiune este mică, de 0,25 ... 2 mm pentru lamelele ambreiajelor magnetice și frînele de avion și de 2 ... 8 mm pentru vehicule terestre. Se mai folosesc și materiale de fricțiune pe bază de cermeți de tipul oxizilor, asociați cu Cr, Mo și Ni.

6.5.5. **Aliaje dure sinterizate**

Aceste materiale, fabricate de obicei din grăunți duri de carbură de wolfram și de titan, aglomerați de către cobaltul introdus ca liant, avînd o duritate deosebit de mare, o rezistență foarte mare la uzare și suportînd fără deteriorare temperaturi foarte ridicate, chiar peste 1000°C, se utilizează larg la armarea sculelor așchietoare, a sapelor de foraj, la fabricarea matrițelor de presare sau de deformare plastică, la fabricarea ștanțelor de mare productivitate, a filierelor de trefilare, a duzelor în instalațiile de sablaj, în fabricarea balanțelor și instrumentelor de măsură și în multe alte domenii. Datorită păstrării durității mari și a capacității de așchiere chiar la temperaturi foarte mari (fig. 6.52), sculele așchietoare armate cu plăcuțe din aliaje dure sinterizate sînt net superioare celor din oțel carbon, oțel rapid sau stellit și permit realizarea unor viteze de așchiere deosebit de mari, productivitatea prelucrărilor prin așchiere crescînd foarte mult. Totodată au devenit prelucrabile prin așchiere o serie de materiale foarte dure.

Cu creșterea conținutului de Co scade duritatea și se mărește rezistența la rupere la încovoiere și tenacitatea (fig. 6.53), proprietăți cerute la materialele de armare (căptușire) a matrițelor și a sculelor de lovire.

Tehnologia de fabricație a aliajelor dure. Pulberile de materii prime se obțin prin reducerea cu H_2 a pulberii de trioxid de wolfram, amestecarea pulberii de W cu grafit și sinteza carburii de W în cuptoare electrice, reducerea cu grafit a oxidului de titan și sinteza carburii de titan, obținerea pulberii de Co prin reducerea cu H_2 a oxidului de Co, toate acestea fiind combinate și cu operații de măcinare și sortare. Pulberile foarte fine, sub 10 μm, se dozează conform rețetelor stabilite în funcție de domeniul de utilizare a produsului și se omogenizează în mediu umed, în mori cu bile timp de zeci și sute de ore. În final urmează o granulare (micropeletizare) în prezența unui plastifiant (cauciuc, parafină, camfor etc.) în scopul asigurării unei manipulări mai ușoare a amestecului de pulberi foarte fine.

Compactizarea în matrițe se face cu presiuni de $(0,1 \ldots 1,5) \cdot 10^6$ N/dm², după care comprimatele se presinterizează la 750 ... 1000°C în atmosferă de hidrogen. Pentru asigurarea unor forme și dimensiuni mai precise, după presinterizare, plăcuțele și blocurile mai pot fi încă prelucrate prin procedeele obișnuite de așchiere (tăiere, strunjire, rectificare etc.). În

Scanned with OKEN Scanner

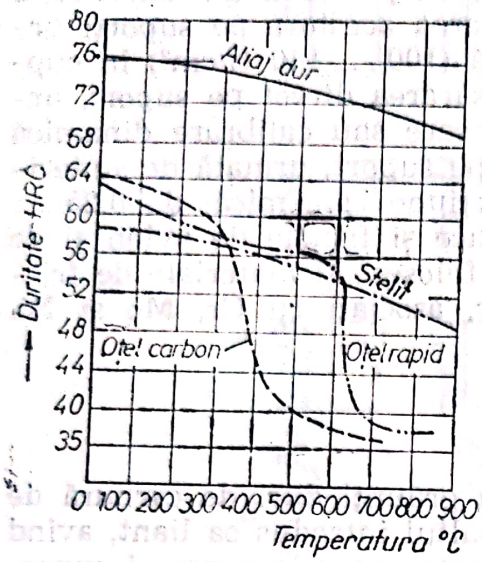


Fig. 6.52. Variația durității HRC cu temperatura la diferite materiale de scule aşchietoare.

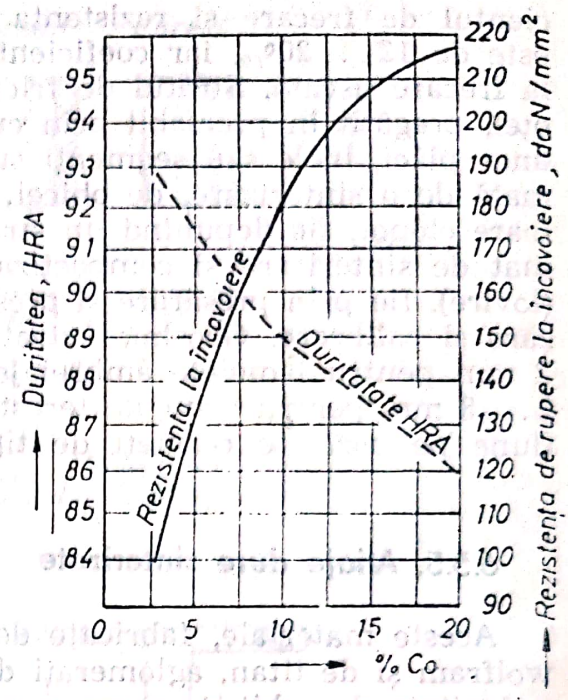


Fig. 6.53. Influența conținutului de cobalt asupra principalelor proprietăți ae aliajelor dure sinterizate, pe bază de carbură de wolfram.

timpul presinterizării, apare o contracție foarte mare, între 20 ... 28%, care are o influență negativă asupra preciziei semifabricatelor nesupuse operațiilor de aşchiere. Sinterizarea finală, la 1350 ... 1550°C, se execută, de obicei, în cuptoare cu vid.

Uneori se aplică și presarea la cald, prin care se obțin produse deosebit de bune, aproape fără porozitate, foarte dure și cu o rezistență neobișnuit de bună la uzare. Amestecul de pulberi se presează în matrițe de grafit cu $(0{,}07 \ldots 0{,}15) \cdot 10^6$ N/dm², la 1350 ... 1600°C, timp de 1 ... 3 minute pentru piesele mici și 10 ... 30 minute pentru piesele mari, de ordinul kilogramelor. Această variantă tehnologică este utilizată, în special, la fabricarea filierelor de trefilare, a bilelor pentru mori, a bucșelor de ghidare pentru strungurile automate și a filierelor pentru extrudarea materialelor cu abrazivitate ridicată.

6.5.6. Scule diamantate

Dintre toate materialele cunoscute, diamantul are cea mai mare duritate, dar este și cel mai scump, indiferent dacă este natural sau artificial. Sculele diamantate pentru condiții de lucru ușoare se pot fabrica prin înglobarea granulelor de diamant în lianți organici, rășini sintetice, cauciuc dur etc.

Sculele diamantate, cu liant metalic sau de aliaje dure, au o comportare bună în cele mai severe condiții de exploatare, ca de exemplu în procesele de foraj de mare adîncime, de tăiere a rocilor, pietrelor, marmorei și materialelor ceramice, de rectificare și șlefuire a acestor materiale dure, precum și a aliajelor metalice foarte dure și a aliajelor dure sinterizate.

Scanned with OKEN Scanner

La sculele diamantate sinterizate, în vederea asigurării proprietăților de ansamblu cît mai bune, granulele de diamant trebuie prinse într-o masă de bază, care să satisfacă următoarele condiții: să nu se uzeze prea repede și să nu permită smulgerea granulelor de diamant înainte ca acestea să-și piardă capacitatea de așchiere; să nu colmateze suprafața de lucru; să aibă un coeficient de dilatare egal sau cît mai apropiat de cel al diamantului. Se pot folosi în acest scop aliaje sinterizate pe bază de cupru, de fier, sau de wolfram și molibden, dar condițiilor de mai sus răspund în cea mai mare măsură aliajele dure sinterizate, pe bază de carbură de wolfram, respectiv și de carbură de titan, cu liant de cobalt sau de nichel. Pentru discurile de rectificat și de șlefuit, respectiv de lustruit, se poate folosi, ca exemplu, amestecul de pulbere de aliaj dur cu o compoziție de 75% carbură de W și 25% Ni, care se omogenizează apoi cu 5 ... 20% pulbere de diamant cu granulația de 10 ... 60 μm. Amestecul se presează și apoi se sinterizează între 1400 ... 1550°C, sau se aplică tehnologia presării la cald în matrițe de grafit, la presiuni apropiate de $0{,}01 \cdot 10^6$ N/dm², la temperaturi de 1100 ... 1200°C, cu o durată scurtă de menținere de 20 ... 40 secunde.

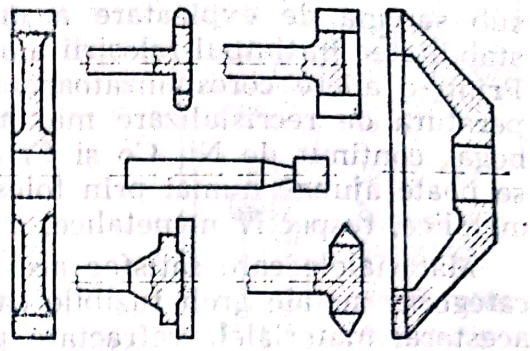


Fig. 6.54. Diverse scule de rectificare, cu zona de lucru din aliaje diamantate sinterizate.

Sculele de foraj, utilizînd granule de diamant mari, de ordinul milimetrilor, plantate numai pe suprafața de lucru a sculei, se confecționează după o tehnologie aparte. În acest caz granulele de diamant se plasează în alveolele unei matrițe de grafit, peste care se presează apoi pulberea de aliaj dur. După o sinterizare la 1100 ... 1200°C în hidrogen, se mai face o infiltrare cu cupru sau aliaje pe bază de cupru.

Cîteva scule de rectificare diamantate sinterizate sînt prezentate în figura 6.54.

6.5.7. Materiale refractare sinterizate

Aceste materiale, utilizate în tehnica modernă pe o scară din ce în ce mai mare, sub formă de sîrme, table, piese ștanțate și ambutisate, respectiv piese fasonate, trebuie să satisfacă o serie de condiții dintre cele mai grele: să aibă o temperatură de topire cît mai ridicată; să-și păstreze proprietățile mecanice bune, sau cel puțin acceptabile, și la temperaturi chiar foarte înalte; să prezinte o stabilitate la recristalizare (să aibă temperatura de recristalizare la valori cît mai ridicate); să prezinte o bună rezistență la oxidare în cazul temperaturilor de regim foarte ridicate; să prezinte o limită de fluaj ridicată chiar la temperaturi foarte ridicate; să suporte bine șocurile termice; să aibă, pe cît posibil, o densitate cît mai mică, mai ales dacă aceste produse sînt folosite în construcția de avioane, rachete sau nave cosmice.

La aceste materiale, o importanță deosebită o are faptul că, în general, peste temperatura de recristalizare mobilitatea atomilor crește brusc foarte mult și, astfel, se reduce considerabil rezistența la deformare

Scanned with OKEN Scanner

sub sarcina de exploatare a mașinii sau instalației respective (fluaj), stabilitatea în timpul folosirii a acestor piese foarte solicitate anulîndu-se. Printr-o aliere corespunzătoare, la aliajele feroase se poate ridica temperatura de recristalizare maximum la 800°C, la aliajele cu un foarte bogat conținut de Ni, Co și Cr pînă la 1050°C, temperatură peste care se poate ajunge numai prin folosirea materialelor sinterizate din pulberi metalice, respectiv nemetalice, cu o refractaritate foarte ridicată.

Materialele care satisfac aceste cerințe severe, pot fi grupate în trei categorii: metale greu fuzibile ca W, Mo, Ta, Nb etc., precum și aliajele acestora; materialele refractare pe bază de carburi, boruri, nitruri, siliciuri și alți compuși cu temperatură de topire foarte înaltă; materiale pe bază de oxizi metalici greu fuzibili și lianți metalici (cermeți). Majoritatea acestor materiale nu pot fi elaborate decît prin metalurgia pulberilor, deoarece la alte tehnologii de elaborare apar dificultăți tehnice și tehnologice, dezavantaje economice sau calitatea produsului este mai slabă.

Materialele refractare, rezistente la temperaturi foarte înalte, stau la baza fabricării unei serii întregi de produse și piese, care ocupă poziții cheie în numeroase domenii ale tehnicii și tehnologiei moderne, cum sînt: filamentele, grilele, anozii și catozii din becuri, lămpi cu mercur, lămpi cu vapori de sodiu, tuburi fluorescente, tuburi electronice, tuburi pentru raze X etc., elementele de încălzire a cuptoarelor speciale pentru temperaturi foarte ridicate, duzele de ejectare a gazelor fierbinți în motoarele cu reacție și sistemele de propulsie a rachetelor, respectiv navelor cosmice, paletele de turbine cu gaze de înalte presiuni și temperaturi, electrozii neconsumabili pentru sudură (cu argon, arcatom etc.).

• *Metalele greu fuzibile*, obținute prin metalurgia pulberilor, prezintă avantajul unei înalte purități și utilizarea unor temperaturi de lucru mult inferioare temperaturilor de topire, care sînt mai ușor și mai comod de realizat. De obicei, prin metalurgia pulberilor se obțin semifabricate sinterizate, care se prelucrează, în continuare, prin tehnologii clasice (forjare, trefilare, laminare, ștanțare, ambutisare etc.). Așa, de exemplu, prin reducerea oxizilor de W sau de Mo, la temperaturi de maximum 900°C în cuptoare tubulare, sub atmosferă de hidrogen foarte uscat, se obține pulberea pură de W sau de Mo, care se va folosi în continuare.

Pulberile reduse de W, cu o granulație între 2 ... 8 μm, cu o densitate de umplere între 2,4 ... 4 kg/dm³, se compactizează cu presiuni de 1,5 ... $3 \cdot 10^6$ N/dm², iar cele de Mo cu p = 2,5 ... $3 \cdot 10^6$ N/dm², după care rămîne încă o porozitate de circa 40%. Sinterizarea se face în două etape. Barele presate în matrițe demontabile, cu dimensiunile între $6 \times 6 \times 200$ mm și $30 \times 60 \times 750$ mm, sînt presinterizate la 1200°C în hidrogen, pentru a asigura o rezistență mecanică corespunzătoare. A doua sinterizare, la temperaturi mult mai înalte (apropiate de cele de topire), este diferită la cele două metale. W se sinterizează la temperaturi maxime apropiate de 3000°C, iar Mo la 2200 ... 2400°C, ambele în hidrogen de mare puritate. Sinterizarea finală se face în cuptoare electrice speciale, tip clopot, folosind barele presinterizate drept rezistori (drept element de încălzire), prin trecerea directă a unui curent electric de joasă tensiune și de foarte mare intensitate (fig. 6.55). La această sinterizare apare o contracție foarte pronunțată, iar porozitatea scade pînă la 10 ... 12%.

Pentru mărirea densității în continuare, se folosesc, de obicei, mașini rotative de forjat (fig. 5.72), care subțiază barele sinterizate, împinse

Scanned with OKEN Scanner

încet înainte prin mașină, cu circa 10.000 lovituri pe minut. Această forjare pentru barele de W are loc între temperaturile de 1100 ... 1350°C. După forjare se realizează o structură fibroasă, cu proprietăți mecanice și tehnologice foarte avantajoase, precum și o compactitate de 100%. În continuare trefilarea la cald începe la 800°C și pe măsură ce se ajunge la diametre din ce în ce mai mici, temperatura trefilării poate fi redusă treptat spre 400°C și viteza de tragere crește din ce în ce mai mult, la diametrul de 0,009 mm atingînd chiar 240 m/min. Pînă la 0,3 mm diametru sînt folosite filiere din aliaje dure sinterizate, iar sub această valoare filiere de diamant.

La fabricarea tablelor de W, forjarea se începe la temperaturi mult mai ridicate, de circa 1700°C și poate fi continuată pînă la 1100°C. Laminarea tablelor subțiri, cu grosimea peste 1 mm, se execută la cald, după care urmează o decapare și apoi laminările la rece. Pînă la atingerea grosimii, de obicei, minime de 0,1 mm, între trecerile laminării la rece se intercalează și operații de recoaceri de înmuiere la temperaturi situate sub 1000°C, pentru a nu depăși temperatura de recristalizare.

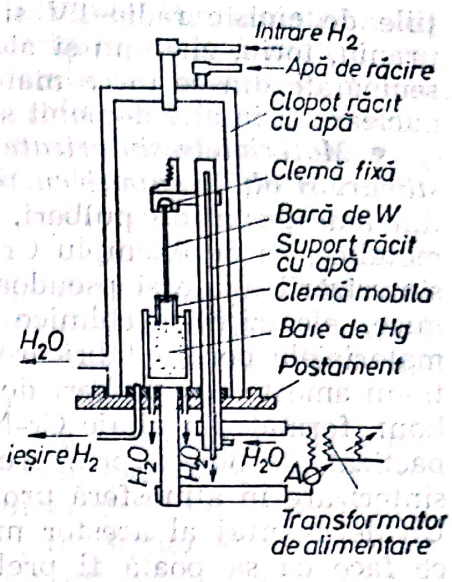


Fig. 6.55. Clopot de sinterizare directă, pentru bare de W și de Mo, presate și presinterizate anterior în cuptoare obișnuite în atmosferă de hidrogen.

O tehnologie deosebit de interesantă se aplică la fabricarea sîrmelor de W foarte subțiri, cu diametrul sub 0,009 mm, unde după trefilare urmează o dizolvare chimică sau electrolitică în instalații speciale. Ca exemplu o sîrmă de W cu diametrul de 0,014 mm poate fi subțiată într-o singură trecere la 0,007 mm diametru, prin scufundare în NaOH și $NaNO_3$ la 340°C, timp de 45 s.

Sîrmele de W, de diferite diametre, se utilizează la fabricarea filamentelor lămpilor incandescente, a tuburilor fluorescente, a filamentelor și grilelor tuburilor electronice, a elementelor de încălzire din cuptoarele electrice pentru temperaturi pînă la 2200°C, a pastilelor de contact („platinele") din instalațiile de aprindere a motocicletelor și autovehiculelor; a contactelor electrice din diferitele aparate de măsură și control, precum și a altor produse speciale. Sîrmele de Mo se utilizează la fabricarea filamentelor de W ca miezuri pentru spiralarea acestora (fiind ulterior dizolvate într-un amestec de acid sulfuric și azotic, să rămînă liberă spirala foarte fină, simplă sau dublă de W), a susținătorilor (ancorelor) pentru filamentele lămpilor electrice obișnuite, a grilelor pentru tuburile electronice, a elementelor de încălzire din cuptoarele electrice pentru temperaturi pînă la 1800°C (tab. 6.2), a diferitelor elemente componente din tunurile electronice ale tuburilor electronice, ale tuburilor cinescop, ale cuptoarelor și instalațiilor de prelucrare sau sudare cu fascicul de electroni, respectiv de ioni, precum și a altor produse speciale a tehnicii de vîrf. Sîrmele de tantal sînt utilizate la fabricarea termocuplelor pentru temperaturi foarte înalte, a diferitelor elemente componente ale aparaturii medicale și ale utilajelor industriei chimice, a capsulelor destinate depozitării izotopilor radioactivi, a anozilor tuburilor electronice din sta-

Scanned with OKEN Scanner

ţiile de emisie radio-TV şi altele. Produsele sinterizate din pulberi de uraniu, toriu, zirconiu şi ale combinaţiilor chimice ale acestora, au o însemnătate din ce în ce mai mare în industria constructoare de reactoare nucleare şi în alte domenii speciale.

• *Materialele sinterizate refractare pe bază de carburi, boruri, nitruri, silicuri şi alţi compuşi cu temperatură de topire foarte înaltă,* se fabrică din amestecuri de pulberi, în care intră cu rol de liant şi alte pulberi metalice, ca de exemplu Cr, Ni, Mo, Co, Nb etc., formîndu-se în timpul sinterizării aliaje şi pseudoaliaje complexe, cu proprietăţi mecanice, termice, electrice şi chimice foarte valoroase. Ca exemplu se amintesc materialele pentru fabricarea paletelor de turbine cu gaze, obţinute dintr-un amestec de pulberi de carburi de Cr şi de Ti, alături de 10 ... 60% liant, format din aliaje Cr-Ni, Co-Cr, Ni-Co-Cr. Acest amestec este compactizat, de obicei, prin presare izostatică, fiind apoi supus operaţiei de sinterizare în atmosferă protectoare, la temperaturi între 1250 ... 1650°C. Un dezavantaj al acestor materiale este duritatea lor foarte mare, ceea ce face ca să poată fi prelucrate numai cu scule diamantate sau prin electroeroziune.

• *Materiale refractare pe bază de cermeţi.* Cermeţii sînt materiale sinterizate din amestecuri de pulberi ceramice (oxizi refractari, carburi, nitruri, boruri, siliciuri etc.) şi pulberi metalice, elaborate pe calea presării şi sinterizării. Ca liant metalic se utilizează pulberi de Fe, Ni, Cr, W, Mo şi de diferite prealiaje pe bază de fier. Proprietăţile cermeţilor depind de compoziţie, caracteristicile componenţilor metalici şi ceramici, de legăturile care apar între acestea în timpul sinterizării şi de fineţea structurii formate.

Cei mai utilizaţi cermeţi sînt pe bază de oxid de aluminiu şi fac parte din sistemele: Al_2O_3—Fe, Al_2O_3—Ni, Al_2O_3—Cr, $Al_2O_3 + Cr_2O_3$—Fe, Al_2O_3—Mo, Al_2O_3—W, Al_2O_3—Al (SAP) şi altele. Cermeţii de tipul Al_2O_3—Cr, datorită temperaturii de lucru ridicate, conductivităţii termice mari şi rezistenţei la oxidare pînă la temperatura de 1200°C, sînt dintre cei mai utilizaţi. Cermeţii pe bază de W şi Mo, datorită refractarităţii acestor metale, prezintă bune caracteristici mecanice la temperaturi înalte şi foarte înalte. Cermeţii Al—Al_2O_3, cunoscuţi sub denumirea SAP (Sinter Aluminium Pulver), au cunoscut o deosebită dezvoltare ca urmare a utilizărilor în aviaţie, industria automobilelor şi industria producerii energiei atomice.

Cermeţii sînt utilizaţi ca materiale refractare (teci pentru termocuple, mufle de cuptor, inele şi tije sau dopuri pentru reglarea fluxului de topituri metalice, piese pentru rachete), materiale ceramice de aşchiere (plăcuţele avînd o foarte mare duritate, rezistenţă la cald, rezistenţă la uzare şi tendinţă redusă de sudare cu metalele aşchiate), materiale de fricţiune, acoperiri de protecţie (la sistemele de eşapare a gazelor foarte fierbinţi a motoarelor de reacţie, a camerelor de ardere, a paletelor turbinelor etc.), diferite elemente combustibile şi părţi componente în reactoarele nucleare, elementele de încălzire a cuptoarelor cu temperaturi foarte înalte etc.

6.5.8. Contacte electrice şi perii colectoare

Cea mai mare parte a materialelor pentru contacte electrice se fabrică prin procedeele metalurgiei pulberilor. Prin metodele clasice de topire şi turnare este imposibilă realizarea unei serii de astfel de materiale,

Scanned with OKEN Scanner

deoarece componentele respective nu se aliază între ele. Din amestecurile pulberilor de componente, prin presare și sinterizare, se pot realiza, în schimb, ușor combinații și pseudoaliaje între metale, sau metale și metaloizi, respectiv oxizi, cum sînt materialele Cu-grafit, bronz-grafit, W-Cu, W-Ag, Mo-Ag, W-Re, Ag-Ni, Ag-CdO etc. Aceste combinații satisfac simultan atît cerințele unei mari conductivități electrice și termice, cît și cerințele unei mari rezistențe la deteriorare prin eroziune electrică și coroziune.

Elaborarea acestor materiale și produse se poate realiza pe două căi: prin amestecarea pulberilor, urmată de o presare și o sinterizare sau prin sinterizarea unui semifabricat poros din componentul greu fuzibil și impregnarea acestuia cu componentul ușor fuzibil, în stare topită.

Contactele electrice de rupere, care servesc la deschiderea și închiderea periodică a circuitelor electrice, asociază proprietățile caracteristice și favorabile ale wolframului (eroziune minimă, duritate mare, transport redus de metal, tendință redusă la sudare, rezistență la uzare etc.), cu cele ale argintului sau cuprului (conductivitate termică și electrică ridicată, oxidare lentă etc.). *Contactele* Ag-Ni, care fac parte tot din grupa pseudoaliajelor, se fabrică prin presarea amestecului de pulberi în forma de bare, care după sinterizare sînt prelucrate fie prin forjare și trefilare, fie prin extrudare și trefilare, pentru a obține sîrme cu diametre de 1...5 mm. *Contactele* Ag-CdO au proprietăți deosebit de favorabile. Oxidul de cadmiu foarte fin dispersat, mărește rezistența la eroziune electrică, micșorează mult tendința de sudare și favorizează stingerea rapidă a arcului electric. Aceste materiale au totodată și o sensibilitate redusă la suprasarcini.

Contactele electrice glisante, în care părțile de contact alunecă una peste alta, trebuie să aibă o bună rezistență la coroziune și eroziune electrică, rezistență la uzare, rezistență la acțiunea arcului electric, conductivitate electrică și termică cît mai bună, tendință redusă de a produce scîntei și un coeficient mic de frecare. Materialele metal-grafit sinterizate au un conținut de 5...70% grafit, 0...10% Sn, 0...12% Zn, 0...10% Pb, restul fiind cupru. Creșterea cantității de grafit și a adaosului de Pb ameliorează condițiile de alunecare. Pentru periile glisante pe firul de cale a troleibuselor se pot folosi materiale sinterizate din 95% pulbere de fier și 5% grafit, cu o porozitate finală de 25...30%, care apoi se umple prin infiltrare cu sulf topit.

6.5.9. Materiale magnetice sinterizate

Prin metalurgia pulberilor se pot elabora toate tipurile de materiale magnetice, tehnologia prezentînd o serie de avantaje importante: utilizarea unor pulberi de mare puritate, respectarea precisă a compoziției prescrise, realizarea unei structuri foarte fine și omogene. Prin urmare, aceste materiale magnetice au proprietăți superioare celor realizabile la materialele obținute prin turnare și deformare plastică.

• *Materialele magnetice moi* sînt fabricate din pulbere de fier pur sau din amestecuri de pulberi de Fe-Ni, Fe-Si, Al-Si-Fe și altele, obținînd aliaje de diferite compoziții. Proprietățile magnetice ale acestor materiale depind foarte mult de compoziția aliajului. În figura 6.56 este dată, ca exemplu, variația permeabilității magnetice relative la sistemul

Scanned with OKEN Scanner

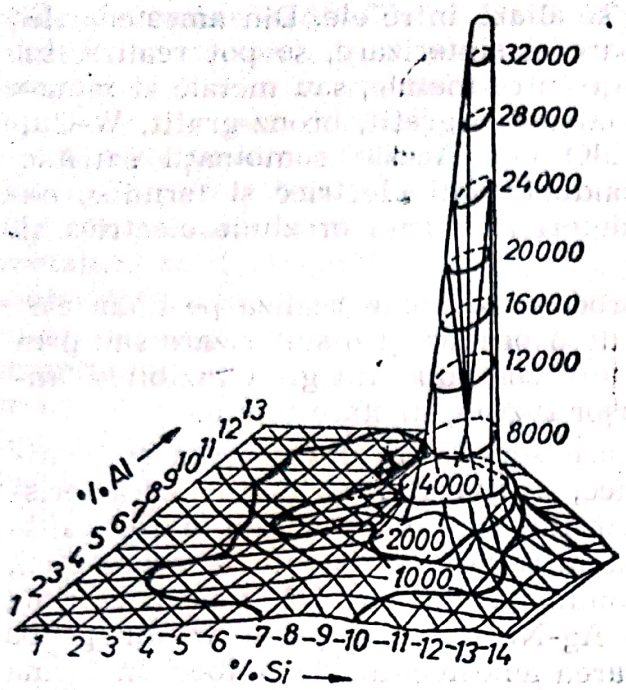


Fig. 6.56. Variația proprietăților magnetice la aliajele ternare Al—Si—Fe.

ternar Al-Si-Fe cu un maxim foarte pronunțat în zona aliajelor cu 9 . . . 11% Si, 5 . . . 6% Al și restul Fe.

● *Materialele magnetice dure* au, în general, o structură eterogenă, fazele magnetice fin dispersate aflîndu-se într-o matrice nemagnetică. Materialul magnetic foarte fin măcinat, avînd granulația de ordinul monodomeniilor, se amestecă cu un liant, după care se compactizează. Astfel se obțin materiale magnetice de mare puritate, cu o structură fină și omogenă, cu proprietăți magnetice și mecanice bune, unele suportînd și o prelucrare mecanică. Din cauza porozității reziduale, proprietățile magnetice sînt cu 5 . . . 10% inferioare magneților turnați.

Amestecul dozat din pulberi elementare de mare puritate, sau de prealiaje obținute prin topire și măcinare ulterioară, se omogenizează și apoi se compactizează în forme. După o sinterizare îndelungată în H_2 sau în vid (pînă la 20 ore), urmează o recoacere de precipitare pentru o dispersie cît mai fină. Uneori se aplică și un tratament termomagnetic, urmat de o revenire la circa 600°C. Dacă se aplică tehnologia aglomerării pulberilor cu un liant din rășini sintetice, se lucrează la temperaturi scăzute, corespunzătoare pentru polimerizarea liantului.

Cele mai răspîndite aliaje cu mare forță coercitivă pentru magneți permanenți au un conținut ridicat de Ni și Co, făcînd parte din sistemele Fe-Al-Ni (numite Alni) și Fe-Al-Ni-Co (Alnico). Mai nou au o importanță din ce în ce mai mare materialele magnetice pe bază de Co și pămînturi rare (de exemplu cu samariu: $SmCo_5$), avînd o energie magnetică pe unitatea de masă și unitatea de preț mult mai ridicată față de alte aliaje magnetice. Astfel a devenit posibilă o miniaturizare avansată a micromotoarelor, instrumentelor de măsurare, calculatoarelor electronice și a altor produse electrotehnice și electronice.

Foarte bune și ieftine materiale magnetice dure sînt fabricate pe scară largă și din pulberile oxizilor diferitelor metale, obținînd o importanță deosebită ferita de bariu (numită și baferit, $BaO \cdot 6Fe_2O_3$), folosită și la fabrica de produse din ferite din Urziceni.

6.5.10. Alte produse sinterizate

În știința, tehnica și tehnologia modernă sînt aplicate pe o scară din ce în ce mai largă și alte materiale și produse fabricate din pulberi metalice.

Scanned with OKEN Scanner

• *Materialele compozite*, armate cu fibre de mare rezistență, prezintă proprietăți fizice și mecanice deosebit de bune, atît la temperatura ambiantă, cît și la temperaturi foarte ridicate.

• *Materialele compuse* obținute din pulberi metalice și de mase plastice, prezintă proprietăți noi și neobișnuite (Fe-bachelită, bronz-teflon etc.). Se extinde folosirea materialelor și produselor fabricate din pulberi metalice și nemetalice, avînd particulele acoperite cu diferite metale sau aliaje (granule capsulate). Ca materiale fonoabsorbante (de amortizarea sunetelor) sînt utilizate masele plastice cu adaos de pulberi metalice, materialul compus avînd o structură foarte poroasă. Pentru etanșarea tuburilor de fontă în rețelele de distribuție a apei și a gazelor se folosesc materiale (compounduri) pe bază de pulbere de fier, care înlocuiește plumbul deficitar și scump. Fierul sinterizat ieftin și nedeficitar, cu 20 ... 50% porozitate, este îmbibat cu bitum pentru o bună rezistență la coroziune.

Oțeluri rapide de înaltă performanță sînt fabricate din pulberi prin presare izostatică la temperaturi foarte înalte și forjarea blocurilor astfel obținute. Diferite scule, matrițe, șabloane, precum și piese pentru instrumente de măsură, fabricate din pulberi, prezintă o excelentă rezistență la uzare. Performanțe ridicate au și electrozii speciali (din aliajul sparcal etc.) pentru instalațiile de prelucrare prin electroeroziune. Diferite pietre de rectificat se fabrică cu liant metalic sinterizat. Pentru navele cosmice se obțin prin metalurgia pulberilor straturi protectoare și scuturile termice indispensabile la întoarcerea acestora pe pămînt. De asemenea se realizează straturi protectoare poroase penru împiedicarea givrajului avioanelor moderne. Pot fi fabricate palete poroase de turbine cu gaze prin care se insuflă aer de răcire, reușind astfel să se coboare temperatura de lucru a acestor palete sub 600°C, devenind posibilă înlocuirea materialelor speciale, deosebit de scumpe, cu oțeluri refractare obișnuite. Pentru tehnica militară se fabrică miezurile de străpungere a blindajelor din proiectilele antitanc. O importanță deosebită a însemnat înlocuirea brîielor forțatoare din Cu a proiectilelor, cu fier poros nedeficitar și ieftin, cu o porozitate de 25 ... 30%, îmbibat cu parafină. Pentru industria chimică, petrochimică și alimentară se fabrică, pe bază de pulberi metalice, o mare varietate de catalizatori cu performanțe ridicate. Folosind tehnica laminării pulberilor, se simplifică foarte mult fabricarea materialelor și produselor bimetalice și a tablelor placate. Tot pentru placare sînt folosite mai nou, cantități însemnate de electrozi bandă din oțeluri înalt aliate și din superaliaje, pentru acoperiri prin topire cu arc. În scopuri medicale se fabrică diferite aliaje și piese speciale pentru implantări chirurgicale și proteze dentare. Pietrele de brichete sînt fabricate pe bază de pulbere de ceriu. Din pulberi de metale prețioase se fac diverse bijuterii, iar în monetării se utilizează cantități însemnate de pulberi de Ni, respectiv Cu-Ni.

O importanță deosebită a obținut metalurgia pulberilor în reciclarea deșeurilor metalice prin transformarea lor în pulberi metalice valoroase (recuperarea de așchii, oxizi de Fe și de Cu proveniți de la laminare, deșeuri și piese uzate din aliaje dure sinterizate etc.).

Scanned with OKEN Scanner

6.5.11. Alte utilizări ale pulberilor metalice

Pulberile metalice sînt folosite în multe alte domenii, în afară de elaborarea unor produse sinterizate. Din cantitatea totală de pulberi fabricate, numai circa 60% este utilizat pentru obținerea de materiale și piese sinterizate. Foarte mari cantități de pulberi de fier sînt utilizate în industria construcțiilor metalice și pe șantierele navale, în procesele de sudare și tăiere termică. Pentru aceasta, la fabricarea electrozilor de sudură de mare randament, pulberea de fier este introdusă în învelișul electrodului. La sudare pulberea se topește împreună cu sîrma metalică, intrînd în cusătura depusă și ridicînd astfel productivitatea operațiilor de sudare la valori neobișnuit de mari. Prin insuflarea în flacăra oxiacetilenică de tăiere a pulberilor de fier (fig. 5.57) devine posibilă tăierea, în condiții avantajoase, a fontelor, a oțelurilor înalt aliate și chiar a betoanelor armate.

Pulberile de fier cu proprietăți magnetice se folosesc în agricultură la decuscutarea (curățirea) electromagnetică a semințelor, la defectoscopia magnetică, în ambreiajele și frînele electromagnetice cu pulberi, iar pulberile foarte fine de oxizi de fier se folosesc la fabricarea benzilor de magnetofoane și de videocasetofoane.

Mari cantități de pulberi de aluminiu se utilizează la fabricarea betoanelor celulare autoclavizate (BCA), care prezintă proprietăți deosebit de bune de izolare termică și fonică, sînt ușor prelucrabile și, avînd o densitate deosebit de mică, permit reducerea considerabilă a greutății construcțiilor. Alte sortimente de pulberi de aluminiu sînt folosite ca

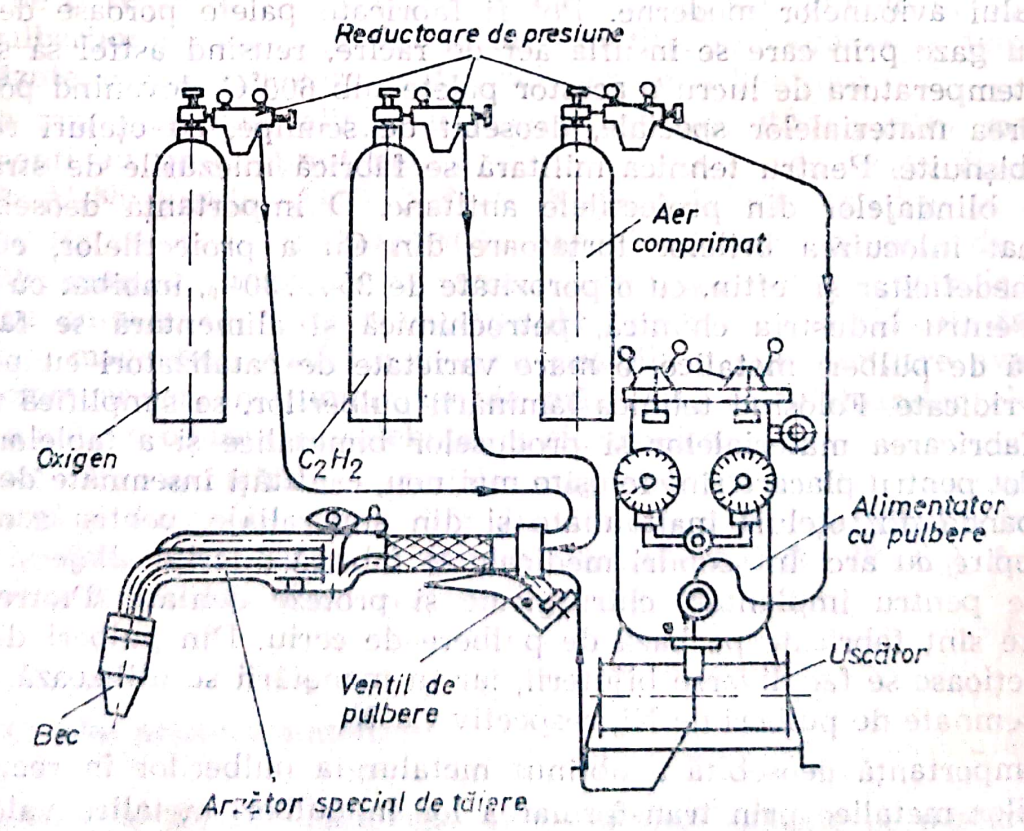


Fig. 6.57. Instalație de tăiere a metalelor cu flacără oxiacetilenică și insuflare de pulberi de fier în flacără.

pigmenți în industria vopselelor și lacurilor, ca termogen în pirotehnie, ca reducător în metalurgia metalelor foarte greu reductibile, la sudarea cu termit și în numeroase alte domenii de aplicare.

Pulberi metalice sînt folosite și în tehnica militară pentru fabricarea proiectilelor incendiare (pulberi de Al, Fe și Mg), în amestecurile de combustibil solid pentru proiectile și rachete (Al, Mg), la fabricarea rachetelor luminoase și de semnalizare etc. În tehnica nucleară și a razelor X se folosesc pulberile metalice în betoanele și cauciucurile cu densitate ridicată și cu un coeficient de absorbție foarte bun, necesare pentru ecranare și protecție. Chiturile speciale cu pulberi metalice sînt folosite pentru repararea pieselor turnate și metalice cu defecte. Pulberea de magneziu intră în anumite blitzuri fotografice, iar, mai nou, se folosesc pulberi magnetice speciale, pe bază de fier, la mașinile de copiat electrostatice (xerox). Ca un ultim exemplu se amintește utilizarea pulberii de Ag în tehnica dentară pentru elaborarea amalgamelor. Aici din amestecul de pulbere de Ag și Hg lichid, are loc formarea prin sinterizare a unui aliaj Ag-Hg la temperatura corpului omenesc (sinterizare cu „formare" de fază lichidă).

7

ASAMBLAREA ŞI TĂIEREA CU ENERGII LOCALE

7.1. ASAMBLAREA PRIN SUDARE

7.1.1. Consideraţii generale

Prin sudare se înţelege procedeul de asamblare nedemontabilă, ca urmare a unui proces metalurgic în stare topită sau plastică, realizat în baza fenomenului interacţiunii atomilor din straturile limită ale materialelor în contact.

Privind procedeul, în tabelul 7.1 se prezintă termenii uzuali, iar în tabelul 7.2 principalele momente în evoluţia procedeului de asamblare prin sudare.

Tabelul 7.1

Termeni uzuali în tehnologia asamblării prin sudare

Termenul	Specificaţia
Sudare	Procedeu de îmbinare nedemontabilă, cu sau fără adaos de material, realizat în anumite condiţii de temperatură şi presiune, pe baza fenomenului interacţiunii atomilor din straturile limită ale materialelor în contact, aduse în stare topită sau plastică.
Sudură	Rezultatul operaţiei de sudare. Elementul de asamblare. Uzual se foloseşte şi termenul *cusătură*, *cordon de sudură* sau simplu *cordon*.
Material de bază	Metalul sau aliajul elementelor constructive care se asamblează.
Material de adaos	Metalul sau aliajul care participă la formarea cusăturii, de compoziţie chimică apropiată cu a materialului de bază.
Sudabilitate	Capacitatea unui material de a permite îmbinarea prin sudare, astfel ca asamblarea să îndeplinească condiţiile tehnice şi de exploatare, fără să se recurgă la procedee tehnologice suplimentare (preîncălzire, tratament termic etc.).

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 7.2

Principalele momente ale evoluției procedeului de asamblare prin sudare

Anul	Autorul	Realizarea
—	—	Asamblarea prin forjare cu încălzire locală este un procedeu practicat încă din antichitate.
1803	V. V. Petrov	Descoperă posibilitatea utilizării arcului electric ca sursă de căldură pentru sudare.
1876	W. Thomson	Elaborează procedeul de sudare, folosind căldura produsă de arcul electric.
1882	N. N. Benardos	Concepe un procedeu de sudare electrică, la care arcul electric se formează între un electrod de cărbune și piesă.
1887	W. Thomson	Brevetează sudarea electrică prin rezistență, pe baza efectului Joule.
1891	N. G. Slaveanov	Realizează pentru prima dată o sudură, folosind arcul electric și un electrod din același aliaj cu piesa de sudat.
1908	O. Kjelberg	Realizează și folosește electrozi înveliți.
1939	În S.U.A.	Este pus la punct și se aplică pentru prima dată procedeul de sudare în atmosferă protectoare.
1940	E. O. Paton	Pune la punct (stabilește și controlează parametrii regimului de sudare) și aplică sudarea automată sub strat de flux.
În țara noastră:		
1889	Anghel Saligny	Aplică sudarea armăturilor metalice la construcțiile din beton armat ale docurilor din portul Galați și Brăila.
1931	Uzinele Reșița	Se execută primul pod sudat, peste Bîrzava, cu lungimea de 31 m și greutatea de 36 tone.
1935	Fabrica de vagoane Arad	Se realizează construcția sudată a vagoanelor de marfă și călători.
După 1944	—	În cadrul dezvoltării întregii noastre industrii, sudarea cunoaște un avînt deosebit, concretizat prin introducerea tuturor tehnologiilor de vîrf.

7.1.2. Procese metalurgice specifice îmbinării prin sudare

Pentru sudarea în faza lichidă, forțele de legătură apar la interacțiunea picăturilor din baia comună cu metalul de bază și se amplifică în timpul cristalizării. Intensitatea procesului interacțiunii este dependentă, în primul rînd de solubilitatea reciprocă, dar și de mărimea tensiunii superficiale, diferența de densitate ș.a.

Privind solubilitatea, spre exemplu, pot exista următoarele grupe de perechi de materiale: cu solubilitate nelimitată — toate materialele identice, Fe-Ni, Fe-Cr, Ni-Mn, Ag-Au etc.; cu solubilitate limitată — Fe-Cu, Cu-Zn etc.; cu insolubilitate totală — Fe-Mg, Fe-Pb.

În cazul sudării în faza solidă, procesul interacțiunii atomilor este accelerat prin apropierea suprafețelor în contact, la o distanță egală cu parametrul rețelei, sub acțiunea unei forțe exterioare.

Scanned with OKEN Scanner

Sudarea prin presare la rece are loc numai în cazul creerii energiei de activare și sporirii mobilității atomilor, ca urmare a deformării plastice pînă la starea de ecruisare, însoțită de o intensă degajare de căldură. Prin încălzirea suplimentară sînt anulate efectele ecruisării, plasticitatea sporește, crește brusc difuziunea atomilor odată cu amplitudinea oscilațiilor termice în jurul poziției lor de echilibru.

7.1.3. Structura cristalină a îmbinărilor sudate

După îndepărtarea sursei de căldură, în cordonul de sudură apar zone cu structuri specifice. Zona centrală are structură dendritică (columnară). Către metalul de bază există zona de trecere, foarte îngustă, formată din amestec de metal topit și metal de bază supraîncălzit (fig. 7.1.). În metalul de bază topit din apropierea cordonului de sudură, datorită încălzirii și răcirii cu viteze mari, au loc transformări ale structurii cristaline, fără modificarea compoziției chimice, pe o anumită lățime (fig. 7.2.) — zona influențată termic (Z.I.T.). Profunzimea acestei zone, în care au loc recristalizări, transformări de fază etc., este dependentă de regimul

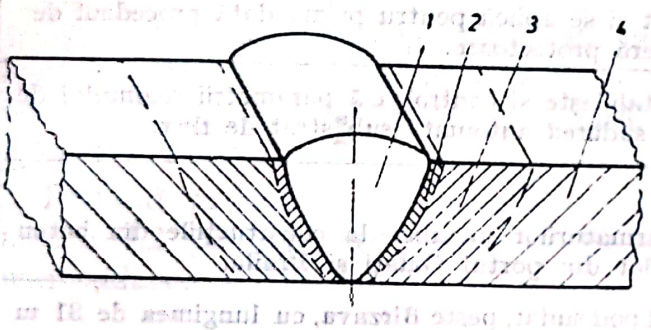


Fig. 7.1. Zonele unei îmbinări sudate prin topire: *1* — cusătura; *2* — zona de trecere; *3* — zona influențată termic (ZIT); *4* — metalul de bază.

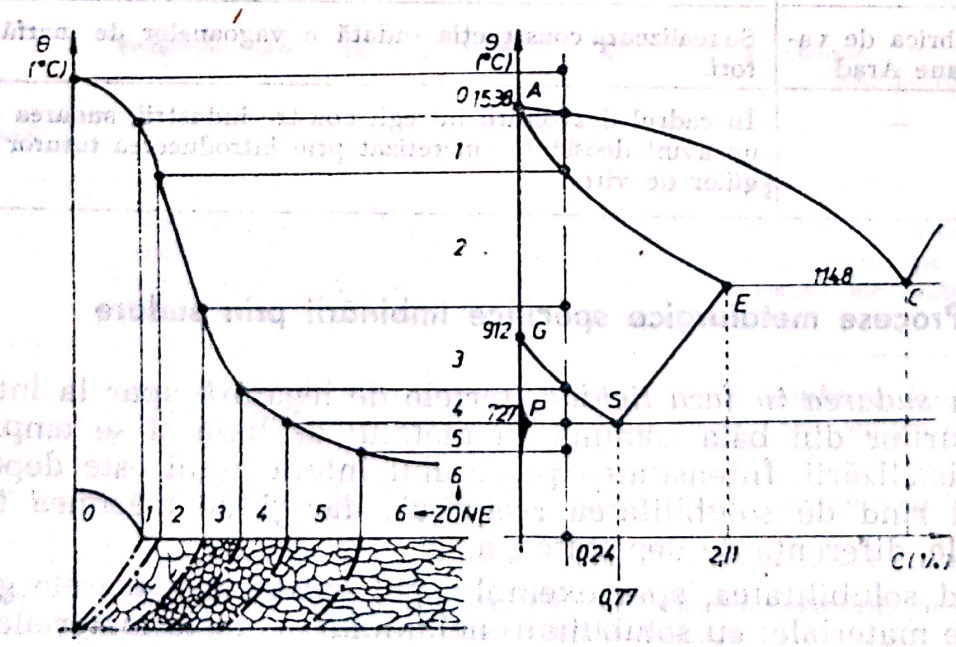


Fig. 7.2. Structuri rezultate după sudare, la un oțel (0,24% C) cu sudabilitate bună: *0* — zona cusăturii; *1* — zona de trecere; *2* — zona de supraîncălzire; *3* — zona de normalizare; *4* — zona de recristalizare; *5* — zona de recristalizare incompletă; *6* — zona de fragilitate la albastru.

Scanned with OKEN Scanner

termic, grosimea pieselor asamblate, tipul și forma cusăturii și procedeul de sudare.

La sudarea în fază solidă, întrucît temperatura este mai scăzută, procesul de sudare are o durată mai scurtă și materialul de adaos nu există, structura îmbinării este mai omogenă. Însă, în zona interacțiunii apar grăunți măriți și, uneori, structuri în afara echilibrului, cu proprietăți diminuate față de ale metalului de bază.

7.1.4. Sudabilitatea materialelor metalice

În România, oțelurile sînt clasificate în trei grupe de sudabilitate (tab. 7.3).

Tabelul 7.3

Sudabilitatea oțelurilor (Extras din STAS 7194-79)

Grupa de sudabilitate		Aprecierea calitativă a sudabilității	Este garantată sudabilitatea	Condiții de sudare
I	a	bună necondiționată	da	Oțeluri cu sudabilitate bună, garantată fără condiții speciale.
	b	bună condiționată	da	Oțeluri cu sudabilitate garantată cu condiția respectării unor măsuri stabilite în prealabil.
II		posibilă	nu	Oțeluri cu care se pot obține îmbinări sudate de calitate corespunzătoare; condițiile de sudare se stabilesc de beneficiar.
III		necorespunzătoare	nu	Oțeluri nerecomandate pentru construcții sudate, cu care în mod normal se obțin îmbinări prin sudură de slabă calitate.

Pentru evaluarea aproximativă a comportării la sudare, se măsoară duritatea în Z.I.T. Spre exemplu, în figura 7.3 este reprezentată variația durității funcție de conținutul de carbon în Z.I.T. (*1*), comparativ cu variația durității în metalul de bază (*2*), pentru un oțel de construcție sudat cu arc electric. La peste 0,3% C, călibilitatea crește, apar structuri în afara echilibrului (inclusiv martensită) specifice ruperii inter- și intracristaline.

Pe lîngă conținutul de carbon, sudabilitatea oțelurilor este dependentă și de elementele de aliere care, de regulă, favorizează durificarea sub cordon. Pentru a ține cont și de influența acestor elemente de aliere, se folosește termenul „carbon echivalent" C_e, definit ca procentul de carbon al unui oțel nealiat care are aceeași sudabilitate cu a oțelului aliat. Relația pentru stabilirea carbonului echivalent este dată de STAS 7194-79:

$$\%C_e = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr}{5} + \frac{\%Ni}{15} + \frac{\%Mo}{4} + \frac{\%Cu}{13} + \frac{\%P}{2} + 0{,}0024\,s, \quad (7.1)$$

în care s (mm) este grosimea pieselor sudate.

Scanned with OKEN Scanner

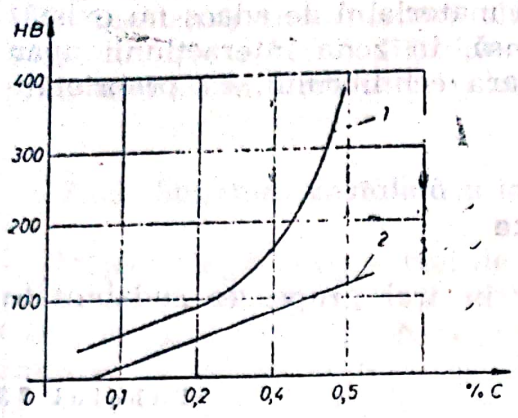


Fig. 7.3. Modificarea durității la sudare: *1* — zona influențată termic (ZIT); *2* — materialul de bază (oțel de construcție).

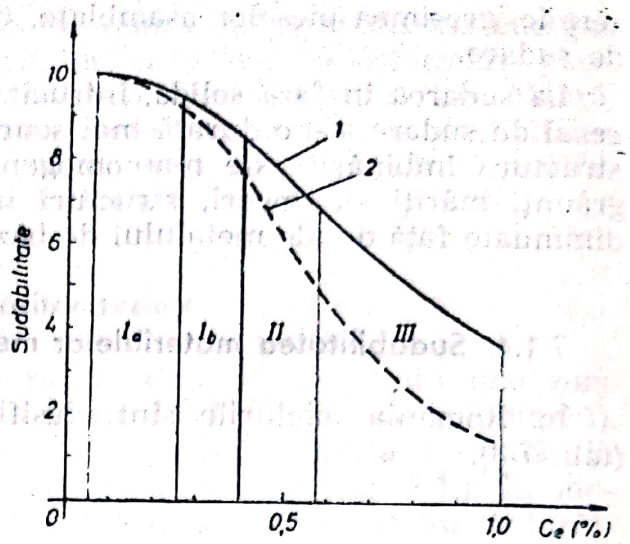


Fig. 7.4. Sudabilitatea funcție de procentul de carbon: *1* — în condiții tehnologice speciale; *2* — în condiții normale; *Ia* — bună necondiționată; *Ib* — bună condiționată; *II* — posibilă; *III* — necorespunzătoare.

Pe baza acestui criteriu, o bună sudabilitate în condiții normale (curba 2) se obține, considerînd o scară convențională de la 1 la 10, cînd C_e = 0,4—0,5% (fig. 7.4). Dacă sudarea este realizată cu preîncălzirea locală a metalului de bază sau folosirea de materiale de adaos compensatoare și a unor tehnici de sudare adecvate, pot fi sudate și oțelurile carbon cu C_e pînă la 1,0% (curba *1*). Însă, ținînd cont de faptul că realizarea unor regimuri optime de sudare este foarte dificilă în condiții de șantier, se evită sudarea oțelurilor cu conținut ridicat de carbon. Pentru construcțiile sudate, la care sînt necesare rezistențe admisibile sporite, în vederea realizării unei bune sudabilități în condiții normale, se recomandă utilizarea de oțeluri slab aliate cu Mn, Cu, Cr, Mo și conținut de carbon sub 0,25%.

Privind influența procentului ridicat de carbon, rezultă că fontele au sudabilitate necorespunzătoare (grupa a III-a). Cu măsuri speciale pentru asigurarea grafitizării cusăturii în timpul răcirii (preîncălzirea pieselor, alierea băii de sudare cu elemente de grafitizare) pot fi sudate numai fontele cenușii.

Cuprul se sudează bine cînd conține O_2 sub 0,4% și dacă sînt asigurate condiții pentru a evita pierderile mari de căldură din cauza conductivității termice foarte bune. Alamele se sudează greu datorită zincului care este ușor oxidabil. De asemenea, bronzul se sudează greu din cauza tendinței puternice de segregație la cristalizare. Aluminiul și aliajele acestuia se sudează greu, atît datorită afinității acestuia față de oxigen, cît și conductivității termice ridicate. Nichelul și aliajele sale se sudează bine.

În ceea ce privește factorii tehnologici, sudabilitatea este sensibil influențată și de procedeul de sudare, de metoda și chiar de tehnica de lucru. Astfel:

— la sudarea prin topire cu arc electric, față de sudarea cu flacără, se realizează local o concentrare mai mare a energiei electrice, cu ZIT mai îngustă și o mai redusă cantitate de căldură transmisă metalului de bază, avînd ca rezultat tensiuni remanente și deformații mai mici în îmbinare;

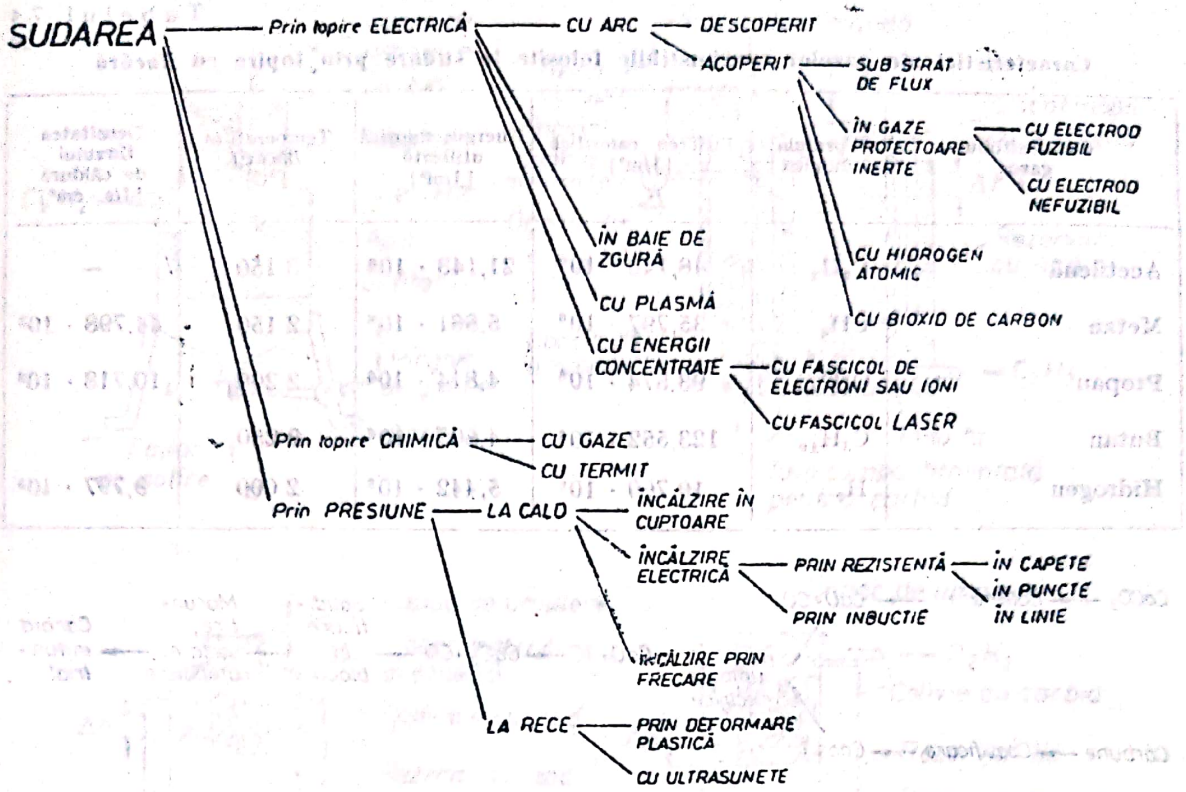


Fig. 7.5. Clasificarea procedeelor și metodelor de sudare.

— între variantele procedeului (sudarea cu arc electric deschis față de sudarea sub strat de flux) sau alte tehnici de lucru (sudarea pe lungimi mari fără rost sau fără prelucrarea uneia din piese), diferențele între valorile tensiunilor și deformațiilor sînt foarte mari.

7.1.5. Clasificarea procedelor de sudare

În figura 7.5 este reprezentată o variantă a clasificării principalelor procedee și metode industriale de asamblare prin sudare, tratate în acest capitol.

7.2. SUDAREA PRIN TOPIRE CU ENERGIE TERMOCHIMICĂ

7.2.1. Sudarea prin topire cu flacără de gaz

Procedeul folosește, ca sursă termică de sudare, reacția chimică controlată între un gaz combustibil în amestec cu oxigenul.

7.2.1.1. **Gazele combustibile folosite la sudare.** Folosirea gazelor combustibile la sudare este condiționată de următorii parametrii de bază: temperatura maximă a flăcării, viteza de ardere în amestec cu oxigenul, densitatea fluxului de căldură și costul gazelor.

Dintre acestea, acetilena, obținută din carbură de calciu și apă, este utilizată pe scară largă datorită caracteristicilor superioare (tab. 7.4). Carbura de calciu (carbid) se fabrică din carbonat de calciu și cărbune, conform schemei procesului chimic din figura 7.6.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 7.4

Caracteristici ale gazelor combustibile folosite la sudare prin topire cu flacără

Combustibilul gazos	Formula chimică	Puterea calorifică [J/m³]	Energia calorică utilizată [J/m³]	Temperatura flăcării [°C]	Densitatea fluxului de căldură [J/s · cm²]
Acetilenă	C_2H_2	$48{,}148 \cdot 10^6$	$21{,}143 \cdot 10^6$	3 150	—
Metan	CH_4	$35{,}797 \cdot 10^6$	$5{,}861 \cdot 10^6$	2 150	$44{,}798 \cdot 10^3$
Propan	C_3H_8	$93{,}574 \cdot 10^6$	$4{,}814 \cdot 10^6$	2 200	$10{,}718 \cdot 10^3$
Butan	C_4H_{10}	$123{,}552 \cdot 10^6$	$4{,}605 \cdot 10^6$	2 250	—
Hidrogen	H_2	$10{,}760 \cdot 10^6$	$5{,}442 \cdot 10^6$	2 000	$9{,}797 \cdot 10^3$

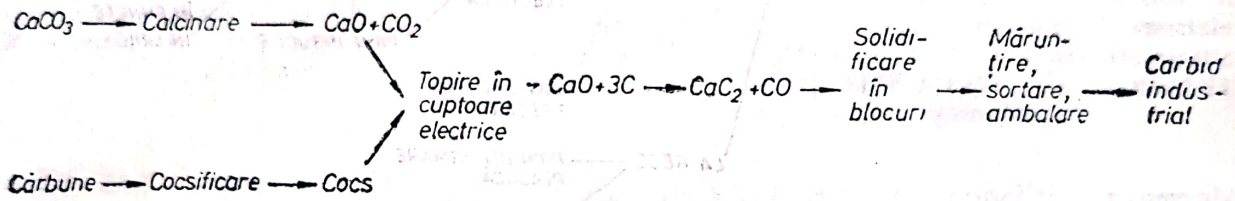


Fig. 7.6. Schema procesului chimic de fabricare a carbidului industrial.

Acetilena rezultă din reacția exotermă dintre carbid și apă:

$$CaC_2 + 2H_2O \rightarrow C_2H_2 + Ca(OH)_2 + 127{,}278 \cdot 10^3 \text{ J/mol.} \quad (7.2)$$

Viteza de reacție crește cu suprafața de contact, deci cu micșorarea granulației carbidului. Carbidul produs industrial se livrează în butoaie din tablă ermetic închise, pe tipuri de granulație.

Fiind instabilă față de componenți, la încălziri locale sau presiuni mari, acetilena are tendința de polimerizare sau disociere (se descompune exploziv), după reacția:

$$C_2H_2 \rightarrow 2C + H_2 + 225{,}668 \cdot 10^3 \text{ J/mol}, \quad (7.3)$$

motiv pentru care la manipulare și îmbuteliere se iau măsuri corespunzătoare.

7.2.1.2. **Utilaje pentru sudare.** La sudarea prin topire cu flacără de gaz sînt necesare următoarele dotări:

a. Pentru evitarea disocierii acetilenei se admite producerea acesteia la presiunea maximă de 1,5 daN/cm², în *generatoare* de tip standardizat (STAS 6306—80) cu circuit de răcire. După modul de contact, se folosesc următoarele tipuri principale de generatoare:

— generatoare cu dozarea carbidului (fig. 7.7, *a*) sau „carbid în apă", în general fixe, de capacitate mare, montate în centrale de acetilenă;

— generatoare cu dozarea apei (fig. 7.7, *b*) sau „apă peste carbid", fixe în centrale de acetilenă sau semiportabile;

— generatoare cu autoreglarea duratei de contact (fig. 7.7, *c*, *d*) sau „cu contact intermitent", care funcționează prin cufundarea carbidului (*c*) sau prin refularea apei (*d*), de capacitate mică și presiune joasă, transportabile.

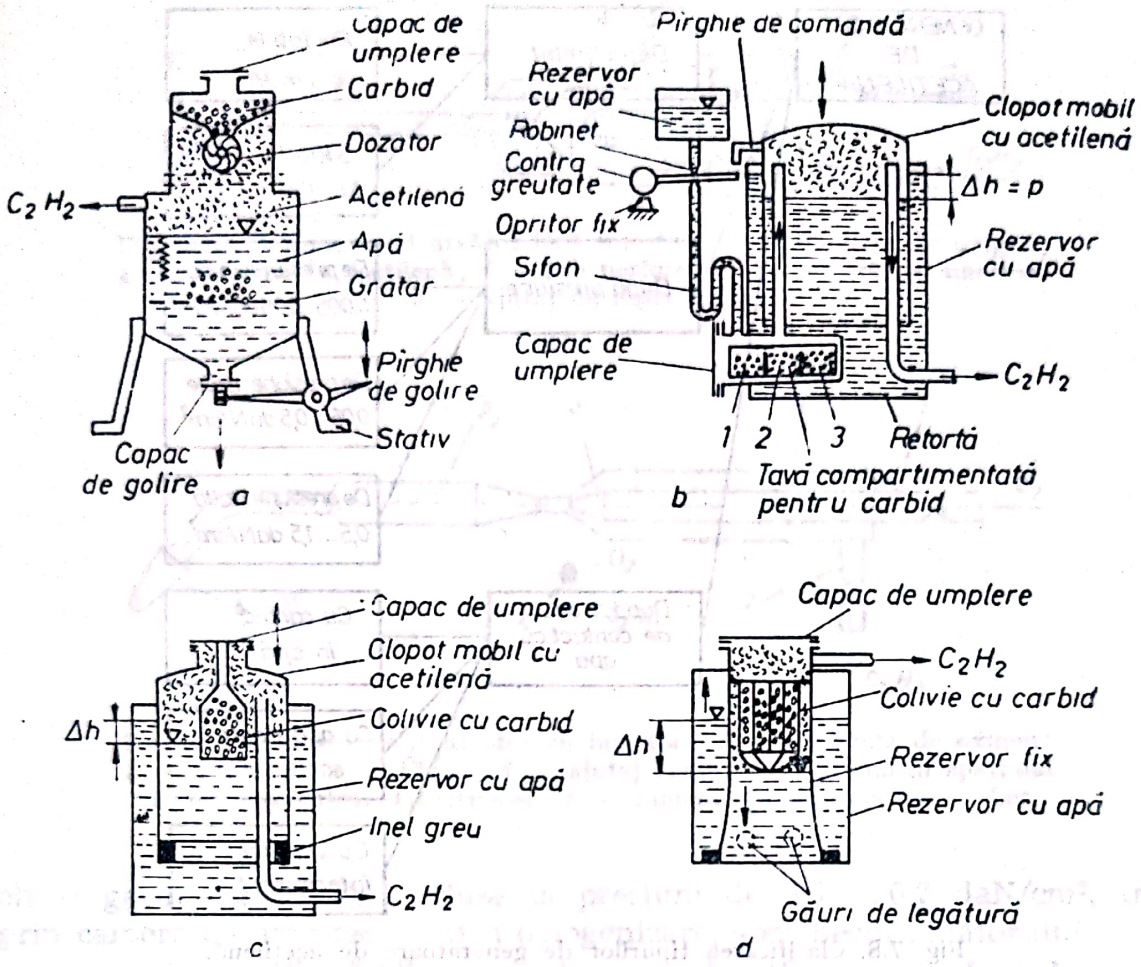


Fig. 7.7. Tipuri de generatoare de acetilenă.

O clasificare a generatoarelor de acetilenă este prezentată în figura 7.8.

Acetilena poate fi păstrată și transportată în butelii (tuburi de acetilenă) în care se află o masă poroasă îmbibată cu acetonă care, dizolvînd acetilena, permite îmbutelierea la presiuni mari (15 0N/cm²).

b. Supapele de siguranță sînt obligatorii la instalația de alimentare cu acetilenă și sînt amplasate între suflai și generator, pentru evitarea întoarcerii flăcării și exploziei în generator. În mod frecvent se utilizează supapa hidraulică de siguranță (STAS 6306—80) a cărei schemă de principiu este reprezentată în figura 7.9 și uneori supape uscate cu bilă. Indiferent de principiul constructiv, acestea funcționează prin evacuarea în atmosferă a acetilenei și obturarea frontului flăcării.

c. Buteliile de oxigen, folosite pentru transportarea și păstrarea oxigenului, au capacitatea de 40 l, încărcate la presiunea de 150 daN/cm². Pentru destinderea gazului la presiunea necesară în suflai (0,5 ... 5daN/cm²) se folosesc reductoare de presiune reglabile.

d. Tuburile de presiune pentru gaze, folosite pentru transportul acetilenei și oxigenului la suflai, sînt fabricate din cauciuc cu inserții de țesături textile (STAS 623—76). Clasificate după domeniul de folosire și presiunea de regim, acestea sînt colorate în roșu pentru acetilenă și albastru pentru oxigen.

Scanned with OKEN Scanner

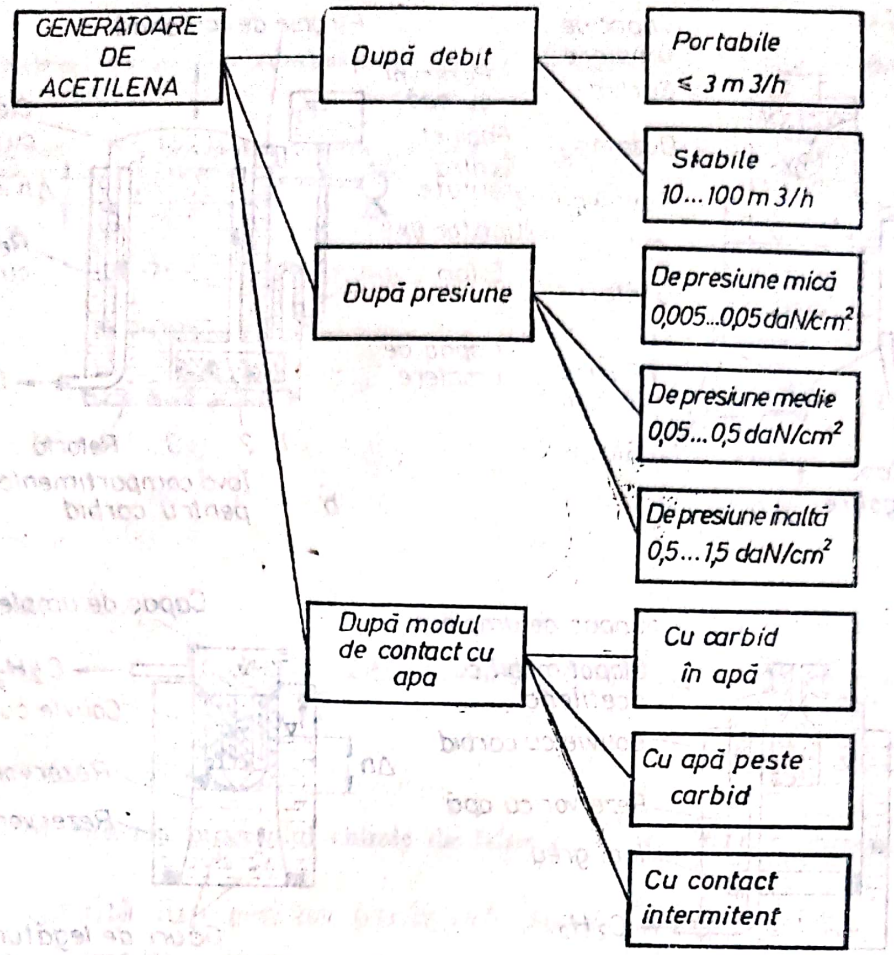


Fig. 7.8. Clasificarea tipurilor de generatoare de acetilenă.

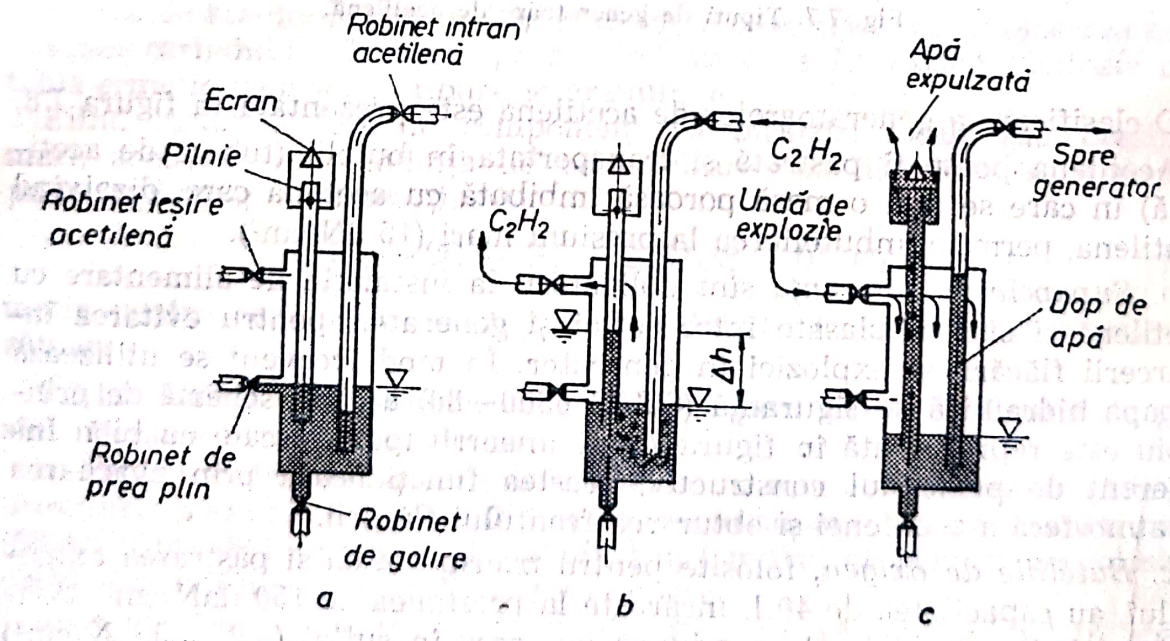


Fig. 7.9. Schema funcțională a supapei hidraulice de siguranță.

e. Arzătoarele (suflaiurile) pentru sudarea cu flacără de gaz (STAS 4137—80) asigură amestecarea gazului combustibil cu oxigenul și formarea flăcării. După presiunea acetilenei și modul în care se realizează amestecul între C_2H_2 și O_2, pot fi:

— fără injector sau de presiune egală (fig. 7.10), în care atît oxigenul

Scanned with OKEN Scanner

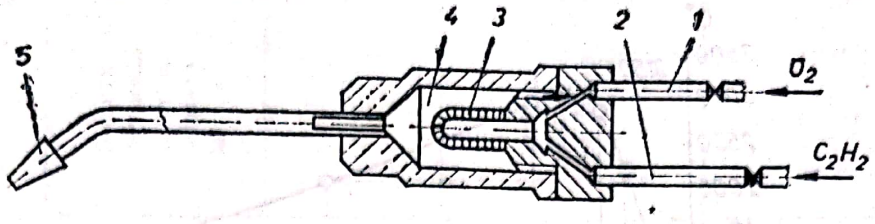


Fig. 7.10. Schema unui arzător fără injector: *1* — conducta de oxigen; *2* — conducta de acetilenă; *3* — tub perforat; *4* — cameră de amestec; *5* — ajutaj de ieşire (bec).

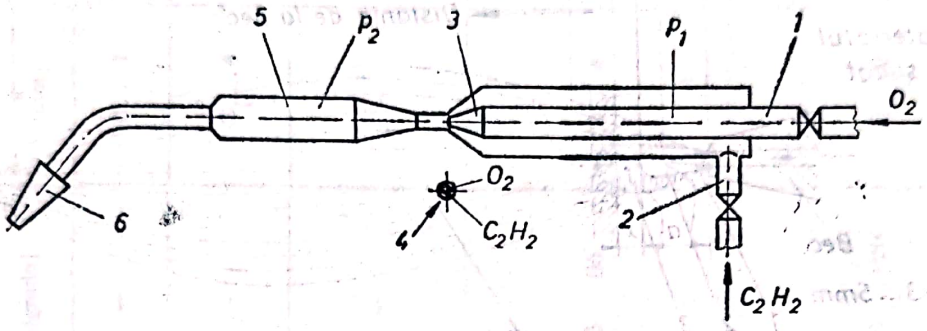


Fig. 7.11. Schema unui arzător cu injector: *1* — conducta de oxigen; *2* — conducta de acetilenă; *3* — ajutaj conic; *4* — secţiunea spaţiului inelar de absorbţie a acetilenei; *5* — camera de amestec; *6* — bec.

cît şi gazul combustibil, aduse la presiuni de 0,5 ... 0,7 daN/cm², trec prin camera de amestec, pentru omogenizare, spre becul arzătorului;

— cu injector (fig. 7.11) are un domeniu de utilizare mai larg deoarece poate fi folosit la presiuni medii sau mici ale acetilenei; oxigenul intră la presiunea de 15 ... 50 N/cm², se destinde la trecerea din injector spre camera de amestec, ajungînd la bec cu o presiune de 1,1 ... 1,5 da N/cm².

7.2.1.3. Sursa termică. Reacţia chimică exotermă, care poate realiza sursa de sudare cu flacără, constă în oxidarea intensă a unei hidrocarburi. În cazul particular al acetilenei, arderea completă în oxigen are loc după reacţia:

$$C_2H_2 + \frac{5}{2}O_2 \rightarrow 2CO_2 + H_2O + Q \qquad (7.4)$$

Procesul arderii este însă mai complex, fapt pentru care flacăra oxiacetilenică este neomogenă ca temperatură şi compoziţie (fig. 7.12). În flacără se disting următoarele zone:

— *zona rece (1)*, constituită din amestecul neaprins;

— *nucleul flăcării (2)*, în care are loc încălzirea treptată a amestecului gazos pînă la temperatura de aprindere; în stratul exterior are loc descompunerea parţială a amestecului, cu formarea unor particule de carbon în stare incandescentă.

$$C_2H_2 + O_2 \rightarrow 2C + H_2 + O_2 \qquad (7.5)$$

care dau cea mai luminoasă parte a flăcării;

Scanned with OKEN Scanner

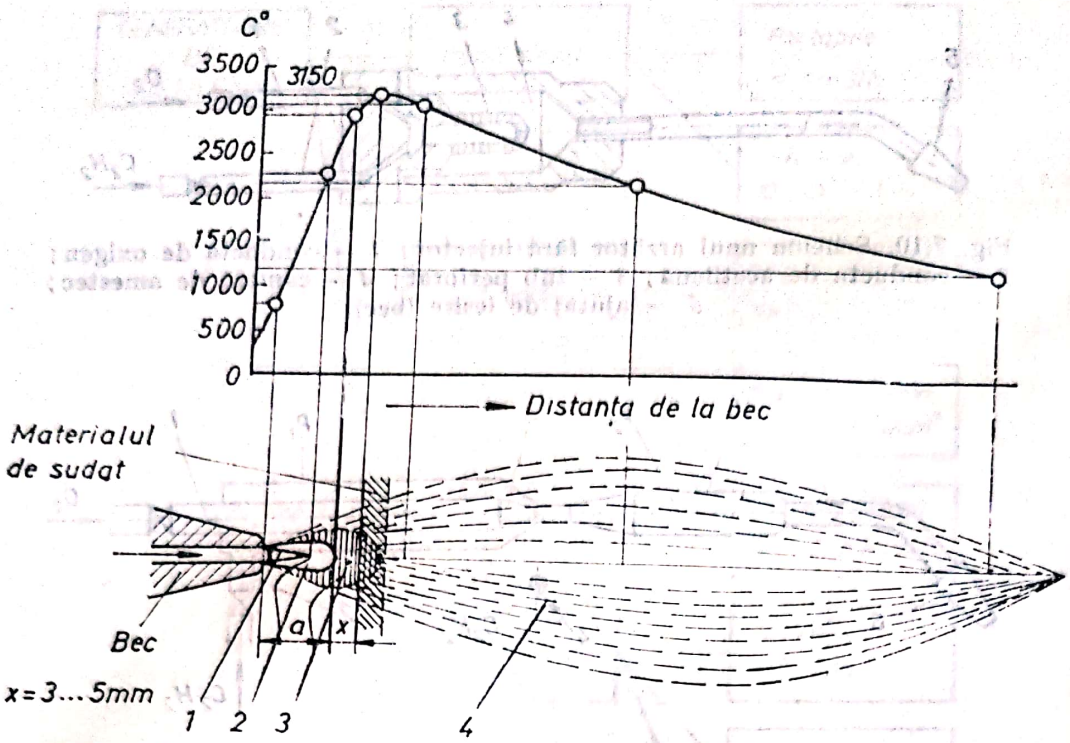


Fig. 7.12. Zone ale flăcării oxiacetilenice.

— *flacăra primară (3)* — zona reducătoare, în care începe arderea numai în contul oxigenului primar provenit din butelie, conform reacției:

$$C_2H_2 + O_2 \rightarrow 2CO + H_2 + Q_1, \qquad (7.6)$$

unde:

$$Q_1 = 450{,}4159 \cdot 10^3 \text{ J/mol}$$

cu efect reducător (deoarece H_2 are proprietăți reducătoare față de oxizii fierului și ai altor metale) și cu temperatura cea mai ridicată;

— *flacăra secundară (4)* — zona oxidantă, în care arderea se continuă datorită, în principal, prezenței aerului înconjurător, după reacția:

$$2CO + H_2 + \frac{3}{2} O_2 \rightarrow 2CO_2 + H_2O + Q_2 \qquad (7.7)$$

unde: $Q_2 = 852{,}3068 \cdot 10^3$ J/mol.

Poartă denumirea de zonă oxidantă deoarece la temperatura acesteia, atît CO_2 cît și H_2O pot oxida fierul.

Funcție de raportul volumetric:

$$\beta_0 = \frac{O_2}{C_2H_2} \qquad (7.8)$$

se disting următoarele tipuri de flacără și utilizări ale acestora:

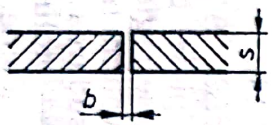
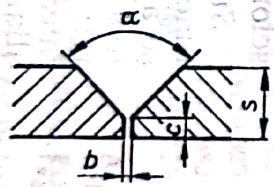
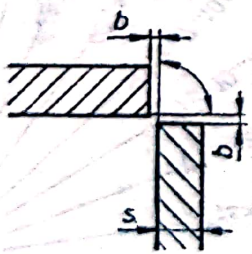
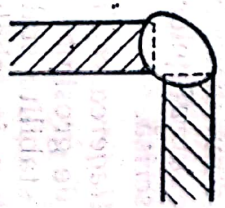
— *flacără normală* ($\beta_0 = 1{,}1 \ldots 1{,}2$), cu efect reducător, în care oxigenul primar asigură începutul arderii; se folosește pentru sudare, în zona *(3)* la suprafața piesei;

— *flacără oxidantă* ($\beta_0 = 1{,}2 - 1{,}5$) cu exces de oxigen, în care acetilena arde complet într-un spațiu concentrat, bine conturat și cu temperatură sporită; nucleul se micșorează, iar zona oxidantă este mai scurtă și de culoare albastră; se folosește la tăierea metalelor;

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 7.5

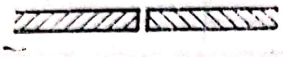
Forme şi dimensiuni ale îmbinărilor, la sudarea prin topire cu flacără de gaz (extras din STAS 6662-74, pentru oţeluri)

Denumirea cusăturii	Forma rostului	Forma îmbinării	Grosimea metalului de bază s [mm]	Dimensiunea rostului			Observaţii
				α [grade]	b [mm]	c [mm]	
Sudura în I			până la 1	—	0...1	—	Sudura verticală simultan bilaterală
			4...12	—	3...4	—	
Sudura în I cu margini răsfrînte			până la 2	—	—	$s+1$	—
Sudura în V			4...12	55...65	2...4	0...2	Pentru sudare pe dreapta
Sudura de colţ			2...8	60...120	0...2	—	—

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 7.6

Indicatori tehnico-economici pentru sudarea prin topire cu flacără de gaz

Felul cusăturii	Grosimea tablei [mm]	Diametrul vergelei de adaos, d [mm]	Materialul depus [kg/m]	Consum de O_2 [l/h]	Consum de C_2H_2 [l/h]	Norma medie de lucru [min/m]	Productivitatea [m/h]
	0,5—2,0	1	0,016	4,6	4,6	6	10
	2—5	1—3	0,05	38	35	10	6
	5—15	4—6	1,0	670	620	33	1,9
	15—20	8	1,9	1240	1160	45	1,3
	20—25	8	3,2	3160	2940	80	0,75

— *flacără carburantă* ($\beta_0 < 1{,}0$), cu exces de acetilenă, în care arderea este incompletă în urma reacției de oxidare primară ; nucleul se mărește, flacăra se alungește ; se folosește la lipire.

7.2.1.4. **Tehnologia sudării cu flacără de gaz.** *Pregătirea marginilor pieselor* constă în: curățirea (la luciul metalic, uscat și degresat) ambelor fețe pe o lățime de 20—40 mm; prelucrarea (în I, V, X sau U) a muchiilor celor două piese funcție de grosimea și tipul îmbinării (tab. 7.5); poziționarea suprafețelor pieselor la același nivel și a muchiilor la distanța prescrisă.

Alegerea regimului de lucru și a indicatorilor tehnico-economici, funcție de grosimea pieselor de sudat, se face în mod uzual cu ajutorul datelor stabilite statistic, sintetizate, în cazul unui oțel cu conținut redus de carbon, în tabelul 7.6, conform STAS 6662—74.

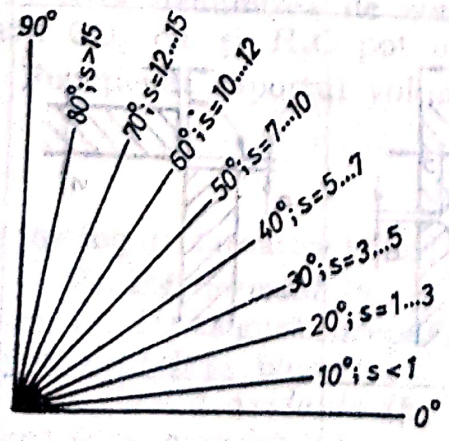


Fig. 7.13. Unghiul de înclinare a axei flăcării, funcție de grosimea s a pieselor de sudat, în mm.

Unghiul de înclinare a axei arzătorului față de axa cusăturii se ia funcția de grosimea pieselor de sudat (fig. 7.13).

Sudarea propriu-zisă. Suflaiul se alege funcție de grosimea piesei de sudat, la care se aprinde flacăra și se reglează forma acesteia după raportul volumetric necesar. Astfel: $\beta_0 = 1$ pentru sudarea Al, Cu și oțel inoxidabil; $\beta_0 = 1{,}1$ — oțeluri carbon și slab aliate; $\beta_0 = 1{,}2$ — alame. Materialul de adaos, sub formă de sîrmă, trebuie să aibă compoziția chimică identică sau apropiată cu a metalului de bază și diametrul $d = \frac{s}{2} + 1$ mm (s — grosimea piesei).

Scanned with OKEN Scanner

Domeniul de aplicare: piese subțiri din oțel carbon, la repararea celor din fontă, unele aliaje neferoase (bronz, alamă) sau cînd nu există rețea sau sursă de curent electric.

Avantaje: reglarea ușoară a flăcării; sudarea piesei de grosimi reduse (0,5 . . . 1,5 mm); eficientă la reparații și remedieri.

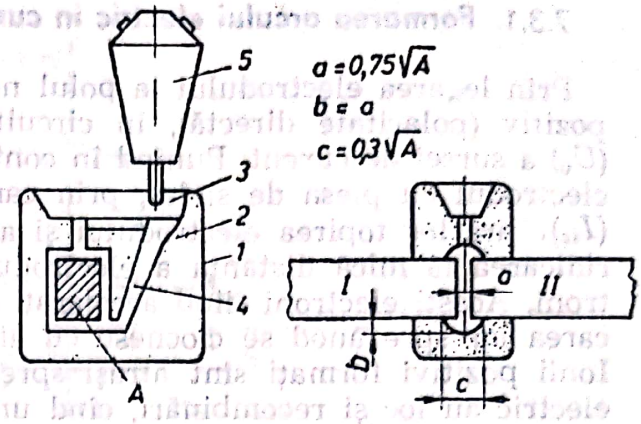


Fig. 7.14. Sudarea prin topire cu termit: *I* și *II* — piesele de asamblat; *1* — cutie de formare; *2* — formă temporară; *3* — bazin pentru zgură; *4* — rețeaua de turnare; *5* — creuzet pentru termit.

7.2.2. Sudarea prin turnare

Procedeul constă în realizarea băii de sudură prin topire cu termit, al cărui proces tehnologic se desfășoară astfel: piesele de sudat *I* și *II* (fig. 7.14) se poziționează între ele, astfel ca să rămînă rostul de valoare *a;* în jurul capetelor se realizează cavitatea de turnare (forma) într-un amestec de formare special (93—94% nisip cuarțos și 6—7% liant superior) care se usucă și se preîncălzește treptat la flacără împreună cu capetele pieselor la 800 . . . 900°C. În mod frecvent se folosește termitul de aluminiu. Reacția exotermă (tab. 7.7) este realizată într-un creuzet separat, fiind amorsată prin aprinderea cu un chibrit special de magneziu. Metalul topit, supraîncălzit, rezultat din această reacție chimică, se toarnă din creuzet în formă, unde topește un strat din metalul de bază, formînd baia comună de metal topit. Zgura se ridică la partea superioară și izolează termic, întîrziind răcirea. Supraînălțarea *b* poate fi îndepărtată prin așchiere.

Procedeul se aplică la sudarea șinelor de tramvai, mai rar la cele de cale ferată. Este însă limitat de costul ridicat al termitului, de productivitatea redusă și, îndeosebi, de tendința de a fi înlocuit cu noile procedee de sudare electrică prin rezistență. Poate fi aplicat cu succes și la repararea pieselor mari din oțel sau fontă.

Tabelul 7.7

Reacții exoterme la sudarea prin topire cu termit

Reacția termică	Efect termic	
	J/mol	J/kg amestec
$3Fe_3O_4 + 8Al \rightarrow 4Al_2O_3 + 9Fe$	$3239{,}327 \cdot 10^3$	$3558{,}780 \cdot 10^3$
$Fe_3O_4 + 4Mg \rightarrow 4MgO + 3Fe$	$1330{,}983 \cdot 10^3$	$4061{,}196 \cdot 10^3$
$Fe_3O_4 + 2Si \rightarrow 2SiO_2 + 3Fe$	$609{,}179 \cdot 10^3$	$2118{,}520 \cdot 10^3$

7.3. SUDAREA PRIN TOPIRE CU ENERGIE ELECTRICA

Marea majoritate a procedeelor de sudare prin topire utilizează energia electrică pentru realizarea surselor de căldură. Dintre acestea, cele mai importante surse electrice de căldură sînt *descărcarea electrică în medii ionizante* (arcul electric, jetul și arcul de plasmă) și *efectul Joule* creat în medii solide sau lichide cu bună conductivitate electrică.

Scanned with OKEN Scanner

7.3.1. Formarea arcului electric în curent continuu

Prin legarea electrodului la polul negativ și a piesei de sudat la polul pozitiv (polaritate directă), în circuit apare tensiunea de mers în gol (U_0) a sursei de curent. Punînd în contact, pentru o fracțiune de secundă, electrodul cu piesa de sudat, prin care trece un curent de scurt circuit (I_{sc}), are loc topirea electrodului și a piesei în locul interacțiunii. După ridicarea la mică distanță a electrodului, catodul începe să emită electroni. Acești electroni fiind accelerați în cîmpul electric exterior, în mișcarea lor spre anod se ciocnesc cu atomii de gaze, pe care îi ionizează. Ionii pozitivi formați sînt atrași spre catod. În spațiul gazos al arcului electric au loc și recombinări, cînd un ion pozitiv și un electron nou dă un atom neutru. Ca urmare a acestui fenomen, are loc o degajare intensă de căldură și o puternică emisie luminoasă.

În cadrul procesului de formare și funcționare a arcului electric pentru sudare, se disting trei perioade succesive:

— *aprinderea arcului* (fig. 7.15) este perioada tranzitorie de amorsare a descărcării electrice, cu etapele descărcare în scînteie și scînteie-arc; aprinderea are loc în urma contactului metalic între electrod și piesă (*a*); prin efectul Joule, curentul de scurt-circuit încălzește puternic zona rezistenței de contact, provocînd o topire locală (*b*); retrăgînd electrodul, are loc amorsarea propriu-zisă a descărcării (*c*); amorsarea arcului este înlesnită de emisia termo- și autoelectronică ce se realizează la temperatură ridicată și intensitate mare de cîmp electric datorită distanței mici între elementele în interacțiune;

— *perioada arcului staționar* corespunde arderii stabile a arcului la o tensiune U_a și un curent de sudare I_s, în cadrul unui echilibru cvasistaționar al fenomenelor de ionizare-recombinare, disociere-asociere, excitare-dezexcitare etc. care au loc în coloana arcului; ionizarea intensă a acestui spațiu creează o conductivitate electrică ridicată a coloanei arcului care asigură trecerea de curenți mari la căderi mici de tensiune (2—3 V/mm). În figura 7.16 este prezentată repartizarea tensiunii în lungimea arcului; diferența mare de potențial (U_k) în zona catodului, unde se consideră că nu există ciocniri între particule, înlesnește accelerarea electronilor spre anod și a ionilor spre catod; energia cinetică acumulată de aceste particule este cedată la impactul cu rețeaua cristalină, formînd porțiuni foarte calde și intens luminoase (pete electrodice) pe vîrful electrodului — *pata catodică* și pe piesa de sudat — *pata anodică*.

Pata catodică este de mici dimensiuni și are o mare densitate de curent (j_k) la valori mici ale curentului de sudare; odată cu creșterea curentului de sudare, secțiunea petei catodice (A_{pk}) crește, iar densitatea curentului

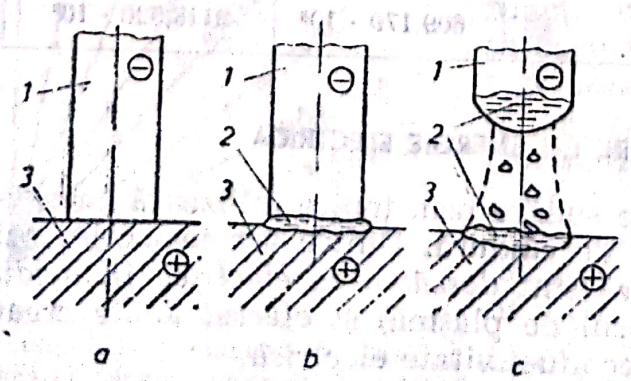


Fig. 7.15. Fazele aprinderii arcului electric: *a* — scurtcircuitarea; *b* — topirea locală; *c* — stabilizarea arcului; *1* — electrod fuzibil; *2* — metal lichid; *3* — piesa de sudat.

Scanned with OKEN Scanner

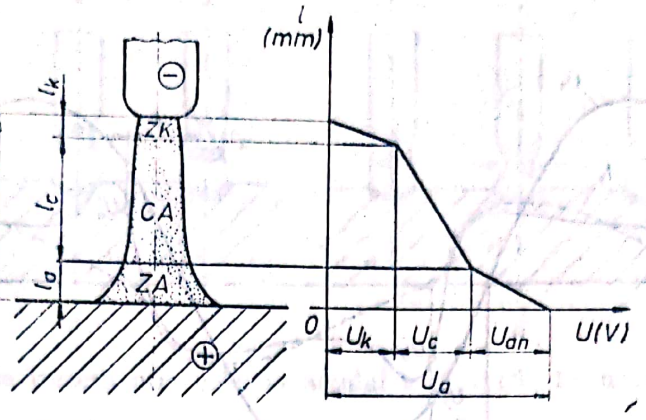


Fig. 7.16. Variația tensiunii în lungimea arcului: *ZK* — zona catodică; *ZA* — zona anodică; *CA* — coloana arcului.

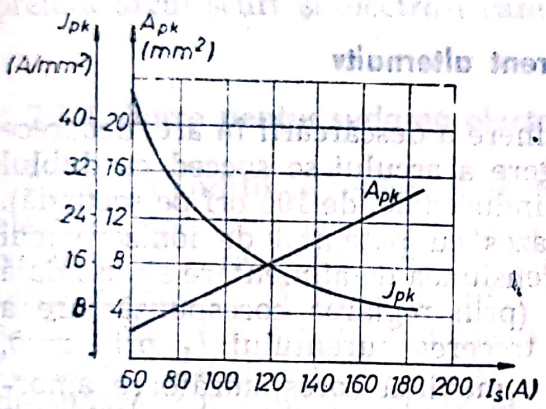


Fig. 7.17. Variația suprafeței petei catodice și a densității de curent.

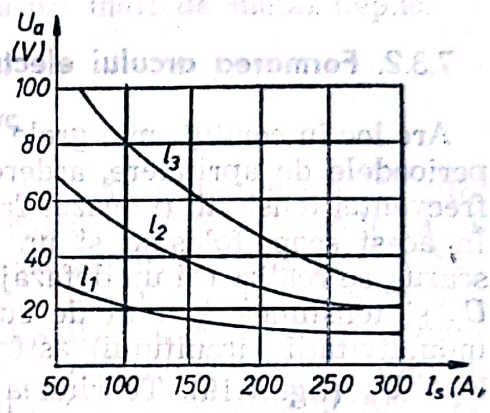


Fig. 7.18. Caracteristica statică a arcului pentru diverse lungimi de arc.

scade sensibil (fig. 7.17). Temperatura petei catodice, depinzînd de natura electrodului, poate fi de circa 2200°C la Fe și de 3400°C la W.

Pata anodică are o densitate (j_{an}) constantă de curent (la Fe, $j_{an} \cong$ $\cong$ 8,8 A/mm²), indiferent de mărimea curentului, avînd o temperatură mai ridicată decît la catod (2300°C la Fe, și 4000°C la W); această încălzire mai intensă a anodului poate fi explicată astfel: pentru emisia electronică în zona catodică se cheltuiește lucru mecanic de ieșire, din contul electrodului, iar prin intrarea electronilor în anod se restituie această energie în contul anodului (piesei de sudat — la polaritate directă).

Funcționarea stabilă a arcului este posibilă la valori diferite ale parametrilor regimului de sudare (tensiunea U_a, curentul I_s și lungimea arcului l. Interdependența acestor parametri numită *caracteristica statică a arcului*, este reprezentată în figura 7.18 ca un fascicol de curbe $U_a = f(I_s)$, pentru diverse valori ale lungimii arcului l;

— *stingerea arcului* este posibilă în două situații: la valori foarte mari ale lungimii arcului, descărcarea nu mai este posibilă deoarece tensiunea creată depășește limita caracteristicii statice; cînd $l = 0$ (la apropierea excesivă de piesă sau la formarea unei punți de metal lichid între electrod și piesă), sursa de sudare funcționează în scurtcircuit.

Scanned with OKEN Scanner

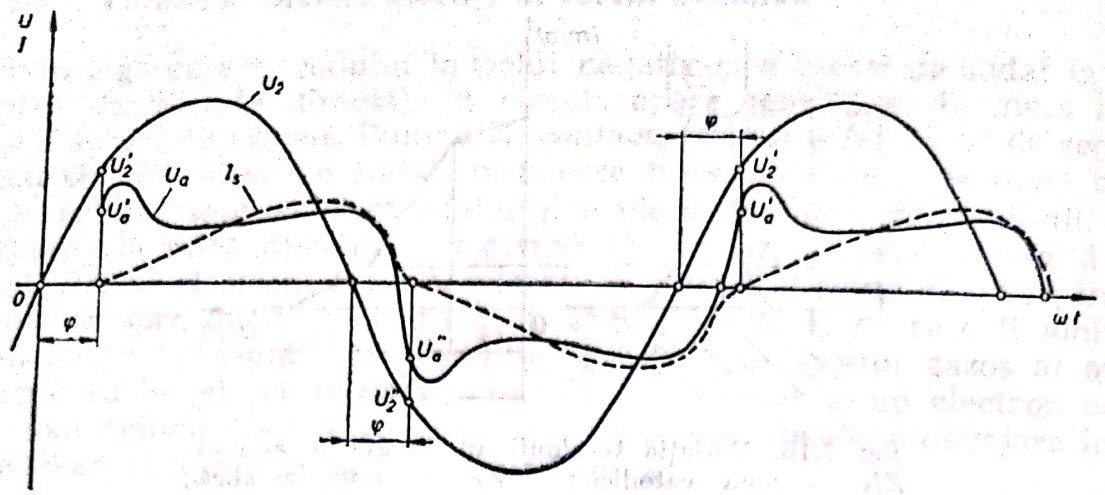


Fig. 7.19. Realizarea defazajului între tensiunea de alimentare și cea a arcului.

7.3.2. Formarea arcului electric în curent alternativ

Are loc în condiții mai grele de întreținere a descărcării în arc, deoarece perioadele de aprindere, ardere și stingere a arcului se succed cu dublul frecvenței tensiunii (în cazul frecvenței industriale, de 100 ori pe secundă). În acest scop, folosind și un mediu gazos cu potențial de ionizare mai scăzut, se realizează un defazaj φ între tensiunea de alimentare sinusoidală U_2 și tensiunea arcului de sudare U_a (prin reglarea corespunzătoare a inductivității circuitului) astfel ca, la trecerea curentului I_s prin zero, $U_2 > U_a$ (fig. 7.19). Tensiunea U_a are o maximă corespunzătoare amorsării arcului, după care tinde asimptotic la o paralelă cu abscisa, iar curentul de sudare I_s, în fază cu tensiunea, prezintă o întîrziere la aprindere datorită fenomenului de amorsare.

Ca efect termic, arcul de sudare în curent alternativ este asemănător celui în curent continuu, însă se deosebește prin alternanța temperaturii între cei doi electrozi datorită schimbării polarității.

7.3.3. Trecerea prin arc a metalului de adaos

Picăturile metalice, depuse de la catod la anod în cazul unei surse de curent continuu, *trec întotdeauna spre piesă* prin spațiul arcului și se depun în baia de sudură, chiar și în cazul nerespectării acțiunii forței gravitaționale. Acest fenomen poate fi explicat pe seama efectului următoarelor forțe:

— *forța de propulsie* F_p (fig. 7.20,*a*), ca urmare a apariției și extensiei unor bule de oxizi vaporizați la temperaturi înalte; spre exemplu, combinarea carbonului cu oxigenul rezultat din descompunerea unor oxizi metalici, de pildă FeO, rămași ca impurități în vergeaua metalului de adaos;

— *forța electromagnetică* $F = F_m - F_e$ (fig. 7.20, *b*) apare în cazul arcului scurt, cînd picăturile formează punți de scurtcircuitare, determinînd o creștere bruscă a curentului (I_s), urmată de sporirea forțelor de atracție între liniile de curent și avînd ca efect gîtuirea picăturii. În același timp apar și componentele axiale ale forțelor electromagnetice F_m către metalul

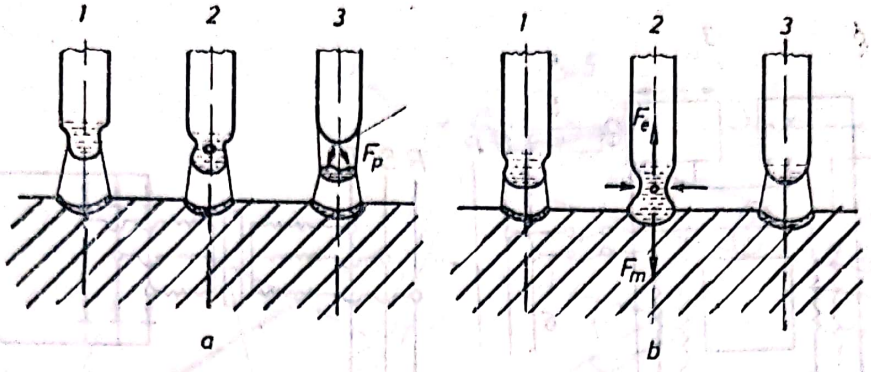


Fig. 7.20. Fazele trecerii prin coloana arcului a picăturii de metal de adaos.

de bază și F_e către electrod. Datorită nesimetriei cîmpului magnetic (secțiunea băii metalice este mai mare decît cea a electrodului), întotdeauna $F_m > F_e$. Acest fenomen este avantajos la sudarea în regim greu cînd se preferă arcul scurt și electrozi care dau picături mari de metal depus.

7.3.4. Surse pentru sudarea electrică cu arc

7.3.4.1. Condiții necesare. Sursele de curent pentru sudare sînt mașini electrice speciale, care trebuie să îndeplinească condițiile: tensiunea și curentul să corespundă arcului electric necesar sudării; caracteristica externă a mașinii să fie pronunțat coborîtoare; tensiunea de mers în gol să fie suficientă pentru amorsarea arcului și stabilizarea acestuia; curentul de scurtcircuitare să nu depășească cu mai mult de 20—40% curentul de sudare; curentul de sudare să fie cît mai constant; să aibă pierderi în gol reduse; mașina să fie de construcție simplă și ieftină și să permită un reglaj fin și ușor.

7.3.4.2. Generatorul de sudare. Este ansamblul compus dintr-un generator de curent continuu, cu caracteristică externă pronunțat coborîtoare, antrenat de un motor care poate fi electric, cu ardere internă sau hidraulic.

În figura 7.21 este reprezentată schema simplificată a unui generator de tip GES, fabricat în țara noastră la Întreprinderea de mașini electrice din București.

Generatorul de sudare permite sudarea cu toate tipurile de electrozi a oțelurilor, fontelor, aliajelor neferoase, chiar la valori mici ale curentului. Cordonul de sudură este mai omogen, neted și cu penetrație mare.

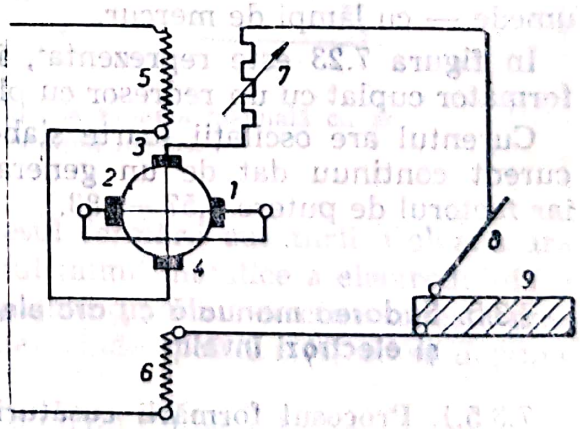


Fig. 7.21. Schema simplificată a generatorului pentru sudare: *1, 2* — perii scurtcircuitate ale polilor ajutători; *3, 4* — perii colectoare ale curentului de sudare; *5, 6* — bobine principale; *7* — rezistență variabilă; *8* — electrod; *9* — piesa de sudat.

7.3.4.3. Transformatorul de sudare, prezentat în schema simplificată (fig. 7.22), este mai frecvent folosit (robust, întreținere simplă, cost redus).

Reglarea regimului de sudare se obține la schimbarea rezistenței inductive a bobinei de reactanță, pen-

Scanned with OKEN Scanner

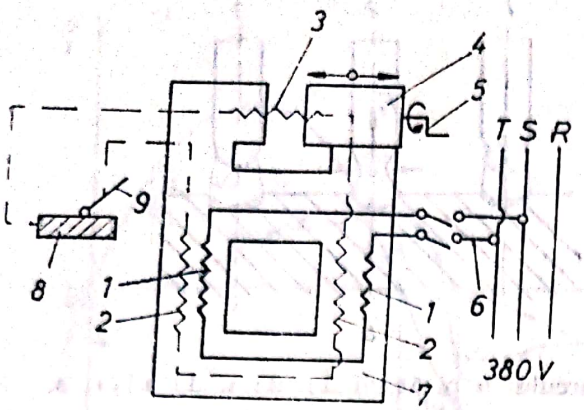


Fig. 7.22. Schema simplificată a transformatorului de sudare: *1* — bobina primară; *2* — bobina secundară; *3* — bobina de reactanță; *4* — miezul mobil al bobinei de reactanță; *5* — mecanism elicoidal; *6* — alimentare de la rețeaua de curent; *7* — miezul de fier al transformatorului; *8* — piesa de sudat; *9* — electrodul.

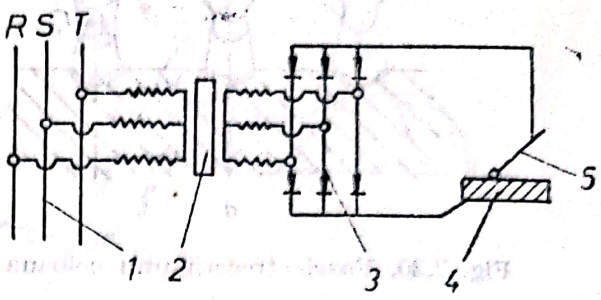


Fig. 7.23. Schema simplificată a redresorului de sudare: *1* — rețea de alimentare de 380 V; *2* — transformator trifazic de sudură; *3* — redresor uscat trifazic cu seleniu; *4* — piesa de sudat; *5* — electrodul.

tru o tensiune neschimbată de mers în gol, prin deplasarea blocului mobil al miezului bobinei de reactanță la rotirea mecanismului elicoidal *(5)*.

Randamentul transformatorului este de 75—85%, fiind aproape de două ori mai mare decît al generatorului de sudare. Pierderile în gol sînt de 0,25 kW, iar factorul de putere este de 0,4 care poate fi îmbunătățit pînă la 0,7 prin folosirea bobinei de reactanță.

Are însă dezavantajul că încărcarea fazelor curentului este nesimetrică, legarea la rețeaua trifazată făcîndu-se între două faze sau o fază și nul.

7.3.4.4. **Redresorul de sudare**, folosit pentru transformarea curentului alternativ în curent mediu continuu, se compune dintr-un *transformator trifazic*, care reduce tensiunea și mărește intensitatea curentului și dintr-un *redresor* care transformă curentul alternativ în curent continuu.

Redresoarele pot fi de tipul uscate — cu plăci redresoare și de tipul umede — cu lămpi de mercur.

În figura 7.23 este reprezentat, într-o schemă simplificată, un transformator cuplat cu un redresor cu plăci din seleniu.

Curentul are oscilații foarte slabe și, practic, nu se deosebește de un curent continuu dat de un generator. Randamentul este de 53—66%, iar factorul de putere 0,57—0,83.

7.3.5. Sudarea manuală cu arc electric deschis și electrozi înveliți

7.3.5.1. **Procesul formării cusăturii.** Arcul arde între vîrful electrodului *(1)* și baia metalică formată între piesele de sudat (*2,3*). Electrodul, sub formă de vergea, este învelit (*4*) cu pastă (flux de sudare), avînd un capăt *(5)* neînvelit prins în portelectrodul *(6)* izolat cu manșonul *(7)* (fig. 7.24). Portelectrodul asigură fixarea vergelei de adaos și conectarea, prin cablul de legătură *(8)*, la unul dintre polii sursei de curent. Celălalt pol al sursei este legat la piesa de sudat prin cablul (*10*) și clema (*9*).

Scanned with OKEN Scanner

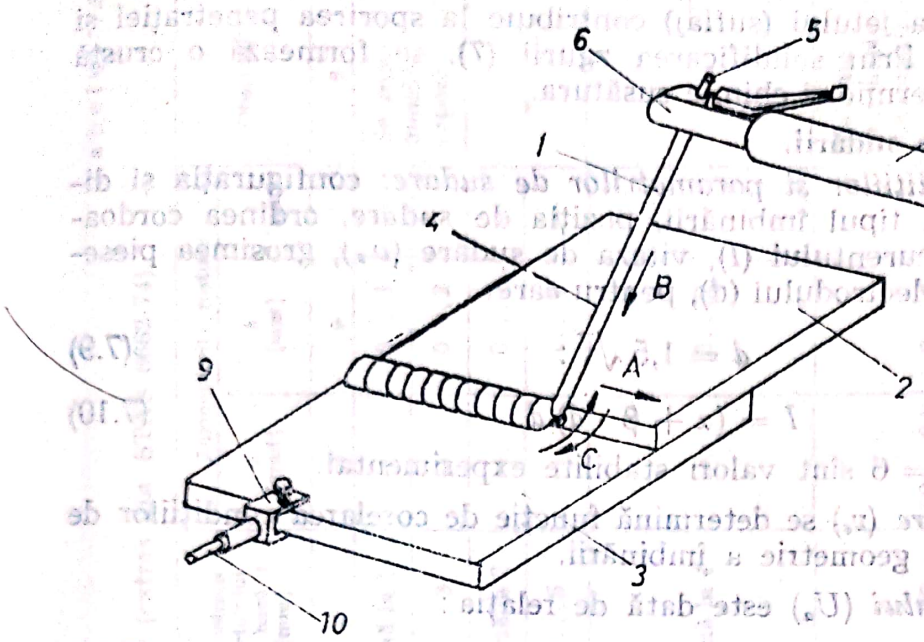


Fig. 7.24. Principiul procedeului de sudare cu arc electric.

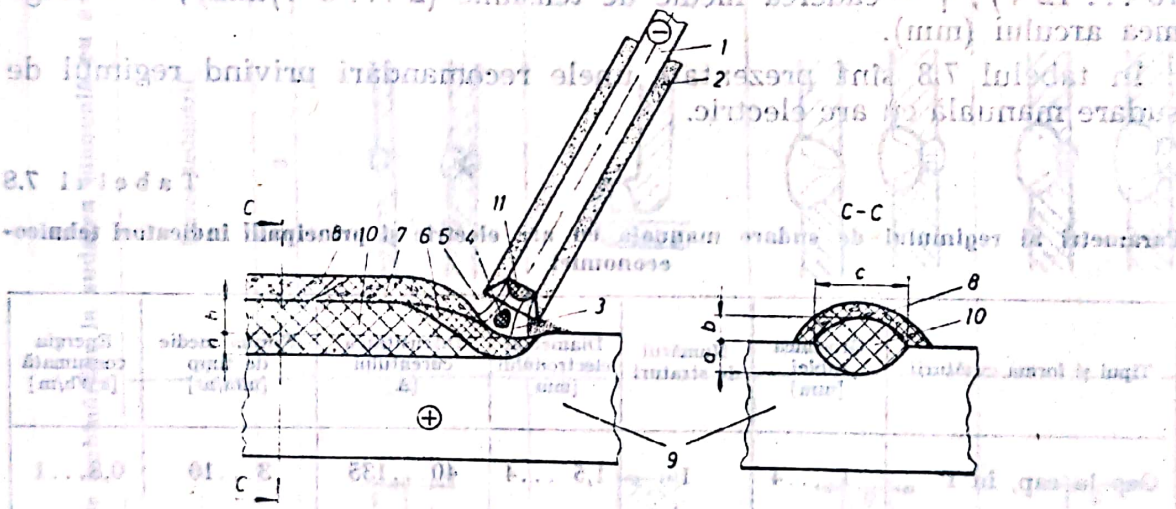


Fig. 7.25. Procesul formării cusăturii la sudarea manuală cu arc electric deschis și electrod învelit.

În figura 7.25 este reprezentat procesul formării cusăturii. Coloana arcului electric (*3*) se formează între vîrful inimii metalice a electrodului (*1*) și baia de metal topit (*6*). Căldura degajată de arcul electric topește metalul din vîrful vergelei, din care se desprinde picătura (*4*) ce se depune în cusătură.

Baia de metal topit conține și metal de bază (*9*) pe adîncimea de pătrundere (*a*). Prin solidificarea băii, rezultă cusătura (*10*) de lățime (*c*). Datorită excesului de metal de adaos topit, cu scopul asigurării unui coeficient de siguranță al îmbinării, cordonul de sudură se realizează cu supraînălțare (*b*).

Odată cu vergeaua metalică se topește și învelișul (*2*) luînd forma de pîlnie; aceasta dirijează gazele generate, sub formă de jet, deasupra băii.

Scanned with OKEN Scanner

Acțiunea mecanică a jetului (suflaj) contribuie la sporirea penetrației și omogenizarea băii. Prin solidificarea zgurii (7), se formează o crustă (8) care protejează termic și chimic cusătura.

7.3.5.2. **Tehnologia sudării.**

a. Stabilirea condițiilor și parametrilor de sudare: configurația și dimensiunile pieselor, tipul îmbinării, poziția de sudare, ordinea cordoanelor, intensitatea curentului (I), viteza de sudare (v_s), grosimea pieselor (s) și diametrul electrodului (d), pentru care:

$$d = 1{,}5\sqrt{s}\,; \tag{7.9}$$

$$I = (\alpha + \beta \cdot d)\, d, \tag{7.10}$$

unde: $\alpha = 20$ și $\beta = 6$ sînt valori stabilite experimental.

- *Viteza de sudare* (v_s) se determină funcție de corelarea condițiilor de productivitate și de geometrie a îmbinării.
- *Tensiunea arcului* (U_a) este dată de relația:

$$U_a = \Delta + \gamma \cdot l, \tag{7.11}$$

unde: Δ este suma căderilor de tensiune la anod și la catod (pentru oțel, 10 ... 12 V); γ — căderea medie de tensiune (2 ... 3 V/mm); l — lungimea arcului (mm).

În tabelul 7.8 sînt prezentate unele recomandări privind regimul de sudare manuală cu arc electric.

Tabelul 7.8

Parametri ai regimului de sudare manuală cu arc electric și principalii indicatori tehnico-economici

Tipul și forma cusăturii	Grosimea tablei [mm]	Numărul de straturi	Diametrul electrodului [mm]	Intensitatea curentului [A]	Norma medie de timp [min/m]	Energia consumată [kWh/m]
Cap la cap, în I	1....4	1	1,5 ...4	40...135	3...10	0,8...1
Cap la cap, în V	5...12	1...4	3,25...5	135...240	12...40	1...2,5
Cap la cap, în X	15...25	4...10	4...8	150...450	40...80	3...6
Cap la cap, în U	20...30	8...13	5...8	200...450	70...110	5,5...8

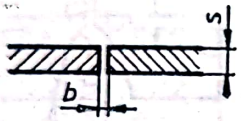
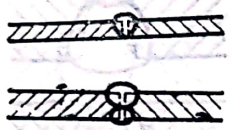
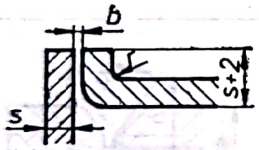
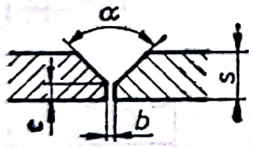
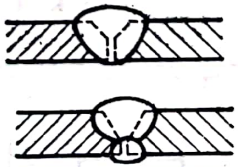
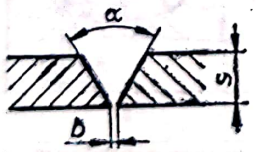
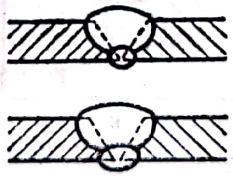
b. Pregătirea marginilor pieselor în vederea sudării. Funcție de grosimea piesei, tipul și forma îmbinării (tab. 7.9) marginile pieselor se prelucrează prin tăiere cu flacără și apoi polizare sau așchiere prin cioplire cu dalta sau pe mașini speciale.

Asamblarea constă, într-o primă etapă, în prinderea prin puncte de sudură de-a lungul cusăturii. Linia cusăturii poate avea, funcție de gradul de incomoditate în execuție, trei poziții în spațiu (fig. 7.26). La poziția verticală, se sudează de jos în sus, un arc scurt și electrozi subțiri; la poziția peste cap, menținerea băii topite pe cusătură se realizează prin presiunea arcului și cu ajutorul tensiunii superficiale a metalului depus.

Scanned with OKEN Scanner

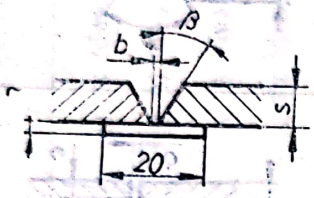
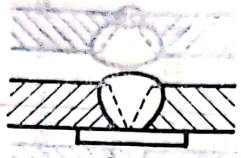
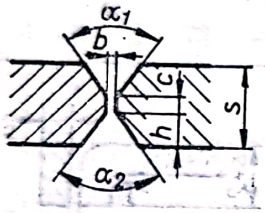
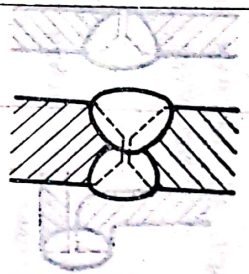
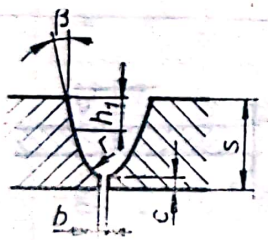
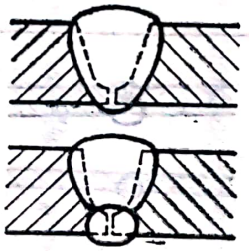
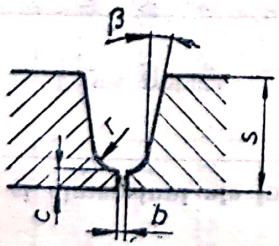
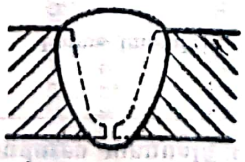
Tabelul 7.9

Forme şi dimensiuni ale îmbinărilor la sudarea manuală cu arc electric (extras din STAS 6662-74)

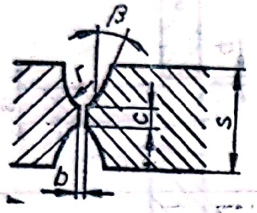
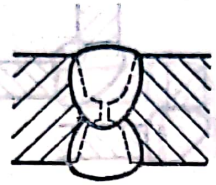
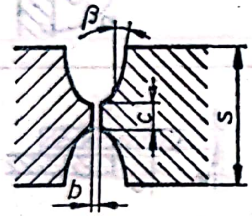
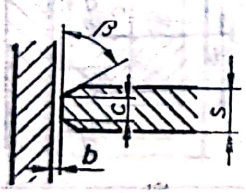
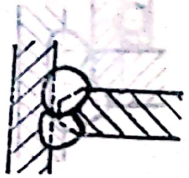
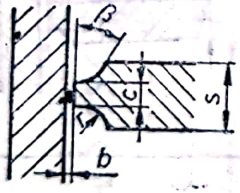
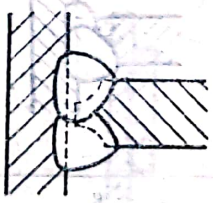
Denumirea cusăturii	Forma rostului	Forma îmbinării	Grosimea metalului de bază s [mm]	Dimensiunile rostului			Observaţii
				α [grad]	b [mm]	c [mm]	
1	2	3	4	5	6	7	8
Sudură în I			până la 1	—	0...1	—	Se recomandă suport
			1...3	—	0...2	—	
			până la 2	—	0...1	—	—
			2...5	—	1...3	—	
Sudură în I cu margine răsfrîntă			până la 4	—	0...2	—	—
Sudură în Y			3...20	50...60	0...3	—	Valorile mai mari ale unghiului sînt pentru sudarea peste cap.
Sudură în V			3...20	50...60	0...3		Se recomandă pentru prelucrarea mecanică a marginilor

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 7.9 *(continuare)*

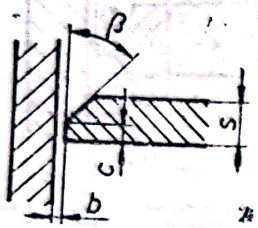
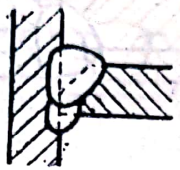
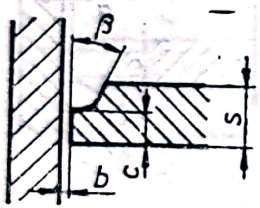
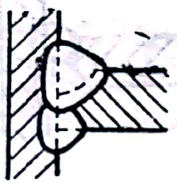
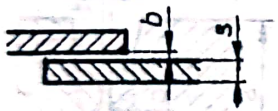
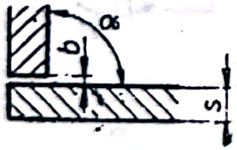
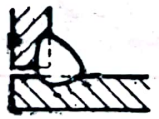
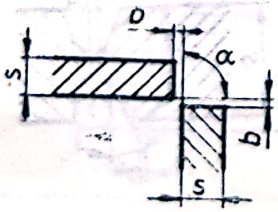
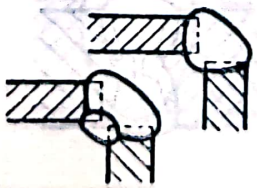
1	2	3	4	5	6	7	8
Sudură în V pe suport			>6	8...12	4...8	—	Suport de oţel
Sudură în X			12...40	α_1 = = 50... ...60 α_2 = = 50... ...90	1...3	0...2	$\alpha_2 > 60°$ se aplică la sudarea nesimetrică $h \approx (1/2 ... 1/3)\ s$
Sudură în U			15	8...12	0...3	1,5... ...3,5	
Sudură în U (specială)			>40	8...12	0...3	1,13... ...3,5	$h_1 \approx \frac{s}{4}$

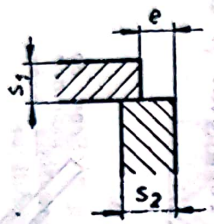
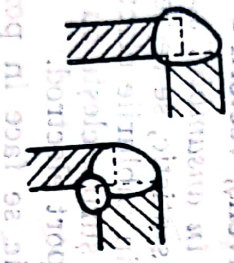
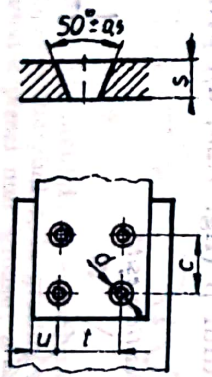
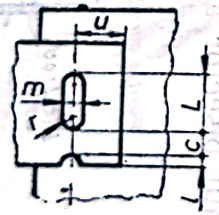
Scanned with OKEN Scanner

Sudură în dublă U			⩾30	8...12	0...3	2...4	$h \approx (1/2 \ldots 1/3)s$
Sudură în dublu U (specială)			>80	8...12	0...3	2...4	$h_1 \approx \frac{s}{8}$
Sudură în 1/2 V			4...20	45...60	0...3	0...3	Se recomandă completarea la rădăcină
Sudură în 1/2 U			>15	16...20	0...3	1,5...3,5	comandă Se recomandă completarea la rădăcină

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 7.9 *(continuare)*

1	2	3	4	5	6	7	8
Sudură în K			12...40	45...60	0...3	0...2	—
Sudură dublă în 1/2 U			>30	16...20	0...3	1,5... ...3,5	—
Sudură pe colţ cu margini suprapuse			>2	—	0...2	—	—
Sudură pe colţ			>2	50	0...2	—	—
Sudură pe muchie			>2	60...120	0...2	—	—

Sudură pe muchie			$s_1 > 2$	—	—	—	Se admite un rost pînă la 2 mm $s_2 > s_1$ $e \geqslant s$
Sudură în găuri rotunde			$s > 2$ mm $d > 2\ s$ 1. Dimensiunile c, U, t se stabilesc la proiectare. 2. La $d > 30$ mm se admite sudarea pe conturul interior al gurii, fără umplerea acesteia. În acest caz, la grosimea tablei $s < 8$ mm nu este obligatorie teşirea găurii. La $s = 8 \ldots 16$ mm, teşirea se execută pe toată grosimea. La $s > 16$ mm, teşirea se face pe o dimensiune care asigură sudarea.				
Sudură în găuri alungite			$m > 2\ s$ $r = 0{,}5$ m 1. Dimensiunile c, U, L, se stabilesc la proiectare. 2. Se admite umplerea completă pe conturul interior al găurilor.				

Scanned with OKEN Scanner

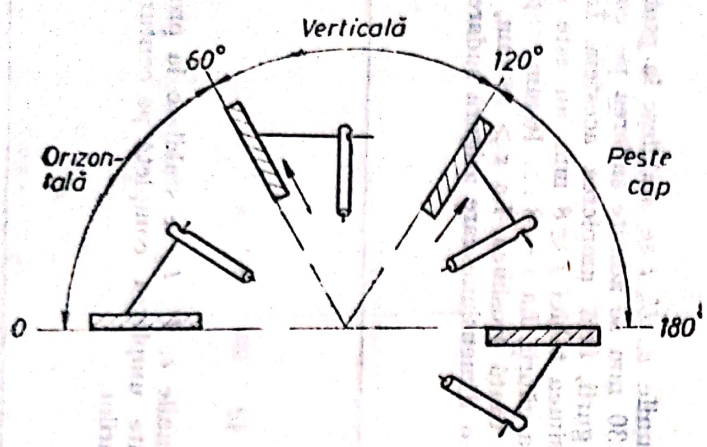


Fig. 7.26. Poziții de sudare.

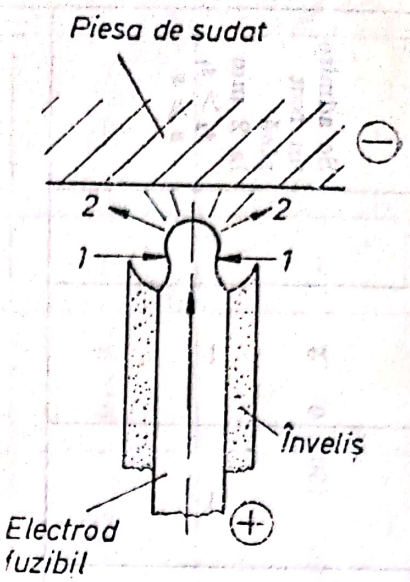


Fig. 7.27. Sudarea peste cap (picătura trece spre piesa de sudat).

În plus, apare stricțiunea liniilor de cîmp magnetic creat de curentul de sudare (efectul Pinch), reprezentat în figura 7.27, prin vectorii *1*, precum și efectul microexploziilor de gaze provenite din oxidarea carbonului din materialul electrodului și materialelor organice din înveliș, vectorii *2*.

c. Reglarea sursei și realizarea circuitului electric în ansamblul sursă-piesă. Pe baza datelor stabilite prin calcul, abace sau statistic, se reglează, pe sursa de curent, valorile curentului de sudare. Prin cablurile electrice și cu ajutorul conexiunilor speciale (cleme, papuci cu șurub, clește cu arc) se fac legăturile între sursă și piesă și între sursă și port electrod.

d. Sudarea propriu-zisă. Amorsarea arcului electric se face în poziția normală pe piesă a electrodului, în vecinătatea cusăturii, după care arcul se deplasează în rost și se începe efectiv sudarea. În timpul sudării, electrodul se ține în planul bisector al unghiului teșiturii și înclinat în direcția de înaintare la un unghi $\alpha = 15—40°$ față de normală (fig. 7.28). Dacă lîngă primul cordon se sudează al doilea, electrodul se menține în planul bisector al unghiului β (fig. 7.29, *a*), principiu respectat și la su-

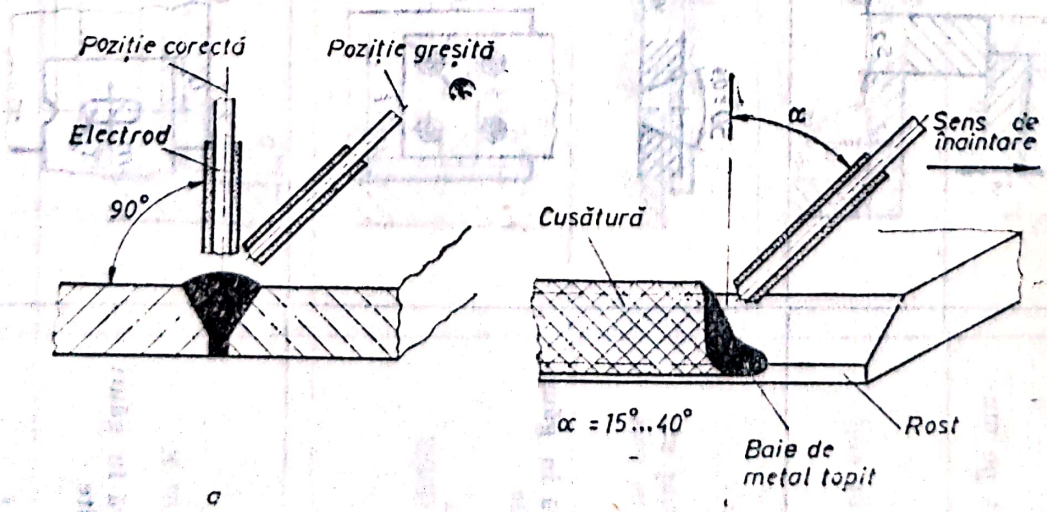


Fig. 7.28. Poziția corectă a electrodului în timpul sudării manuale cu arc electric: *a* — secțiune transversală; *b* — secțiune longitudinală.

Scanned with OKEN Scanner

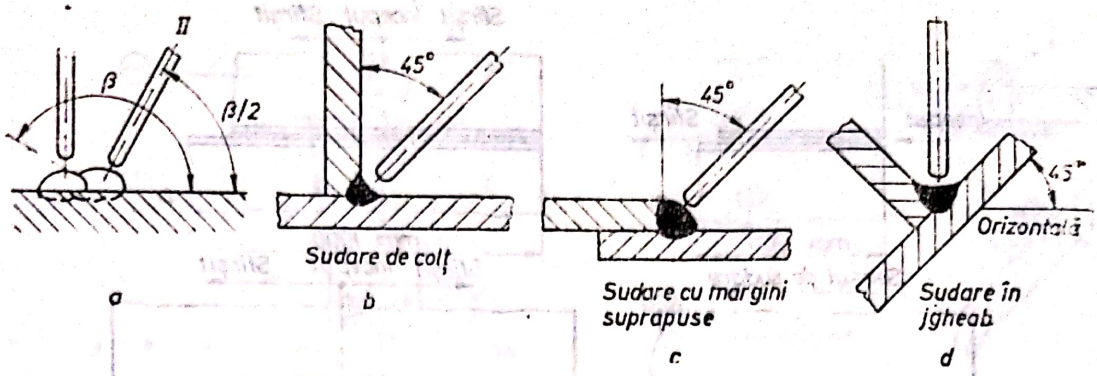


Fig. 7.29. Poziția electrodului în planul bisector.

durile de colț sau cu margini suprapuse (fig. 7.29, *b* și *c*). Uneori, piesele sînt poziționate în vederea sudării în jghiab (fig. 7.29, *d*).

Lungimea arcului, care trebuie să fie aproximativ egală cu diametrul electrodului, este menținută prin mișcarea în lungul electrodului, pe măsură ce acesta se topește. Rezultanta celor două mișcări (pe axa cusăturii, de pendulare) poate avea traiectorii diferite (fig. 7.30).

Pentru piese groase, ordinea depunerii cordoanelor este prezentată în figura 7.31.

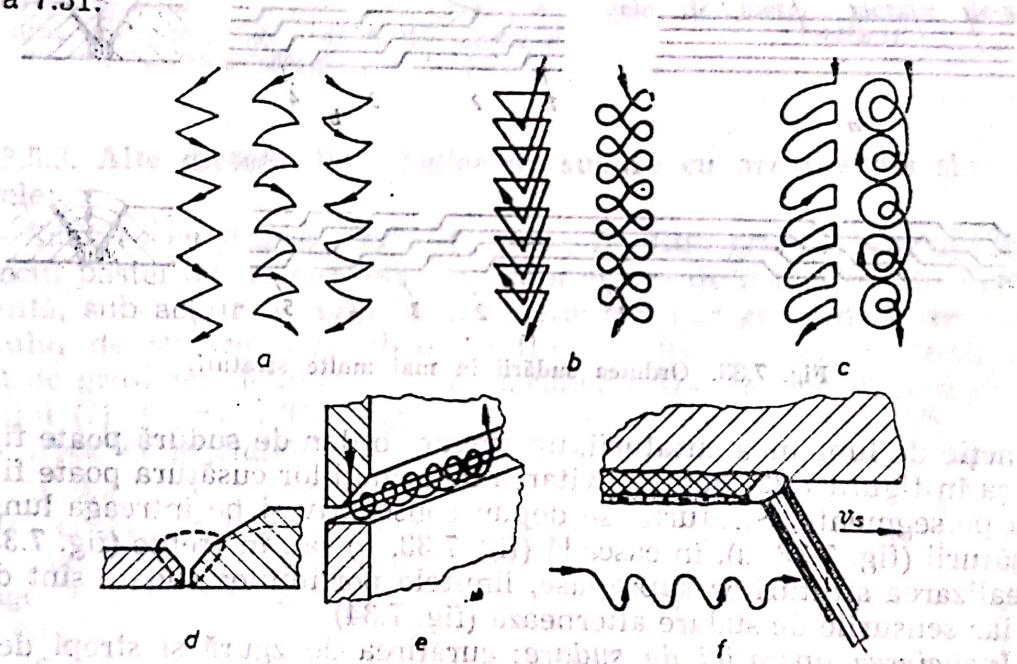


Fig. 7.30. Traiectorii ale arcului: *a* — sudură normală; *b* — încălzirea suplimentară a marginilor, la grosimi mari; *c* — încălzirea suplimentară numai a piesei mai groase; *d* — sudarea materialelor de grosime inegală; *e* — sudarea în cornișă; *f* — sudarea pe plafon (peste cap)

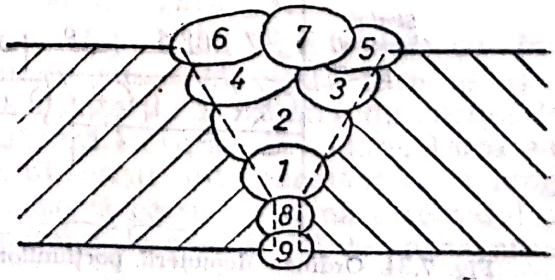


Fig. 7.31. Succesiunea cordoanelor de sudură la sudarea pieselor groase.

Scanned with OKEN Scanner

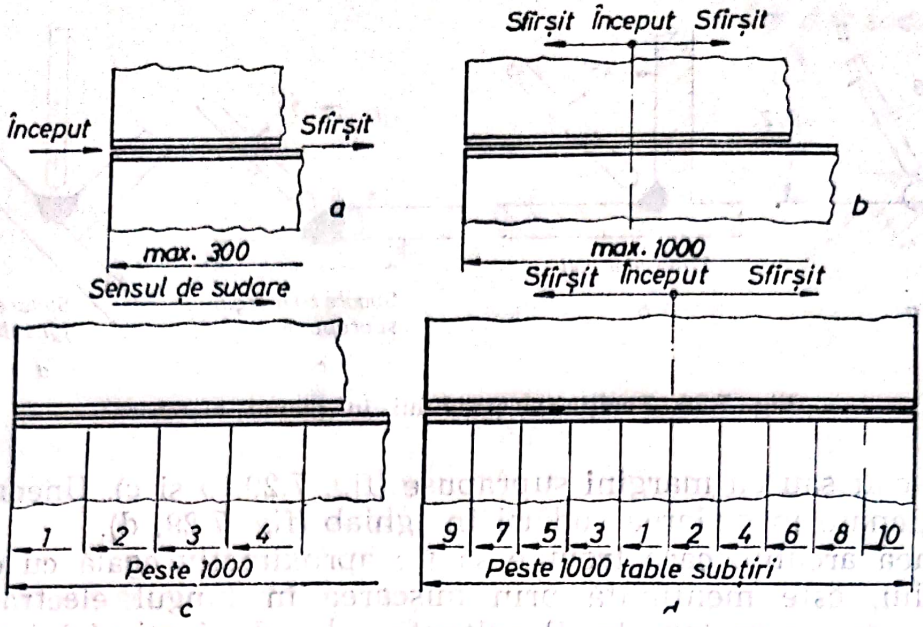


Fig. 7.32. Tehnici de lucru pentru sudarea unui cordon pe lungimi diferite.

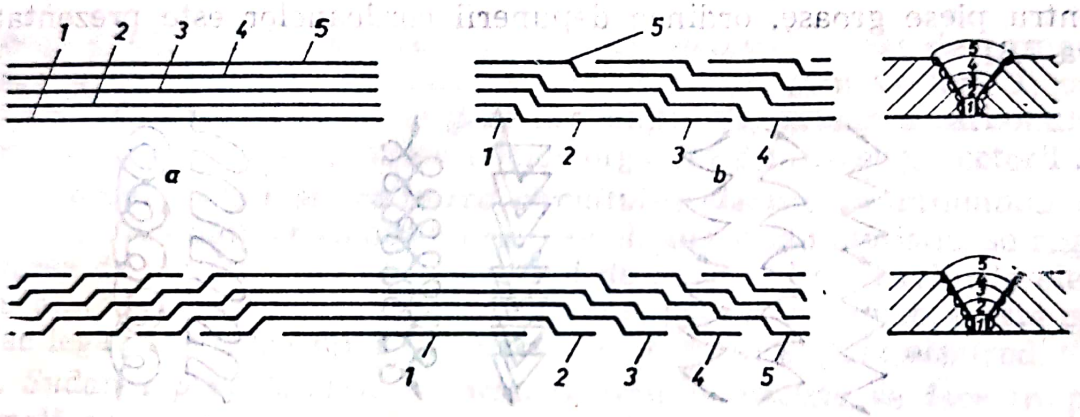


Fig. 7.33. Ordinea sudării în mai multe straturi.

Funcție de lungimea cusăturii, un singur cordon de sudură poate fi realizat ca în figura 7.32. Pentru evitarea deformațiilor cusătura poate fi realizată pe segmente. Straturile se depun consecutiv și pe întreaga lungime a cusăturii (fig. 7.33, *a*), în cascadă (fig. 7.33, *b*) sau în trepte (fig. 7.33, *c*). La realizarea straturilor suprapuse, limitele porțiunilor sudate sînt decalate, iar sensurile de sudare alternează (fig. 7.34).

e. Încheierea operației de sudare: curățirea de zgură și stropi de sudură, îndepărtarea prin așchiere a supraînălțării cordonului, corectarea prin polizare a zonei de trecere între metalul de bază și cordonul de sudură.

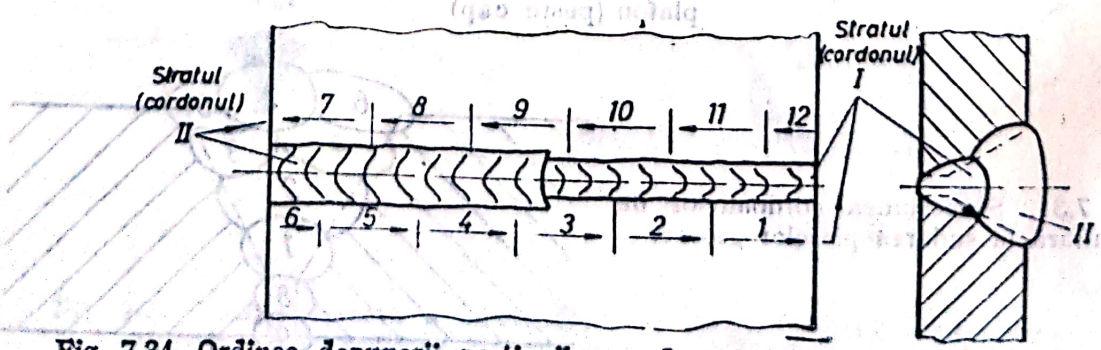


Fig. 7.34. Ordinea depunerii porțiunilor cordoanelor în straturi suprapuse.

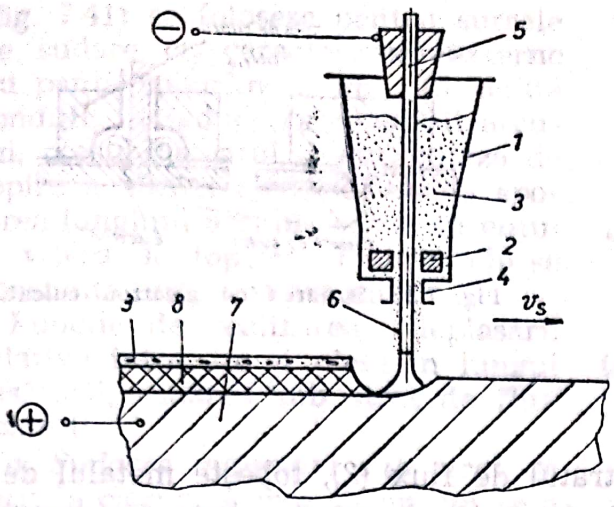


Fig. 7.35. Schema sudării cu flux magnetic: *1* — rezervor; *2* — magnet permanent; *3* — pulbere; *4* — inel de dozare; *5* — sîrmă electrod care se deplasează cu viteza v_e; *6* — pulbere de flux atrasă de sîrmă; *7* — piesă; *8* — cusătură; *9* — strat de zgură; *10* — duză de ghidaj și contact electric.

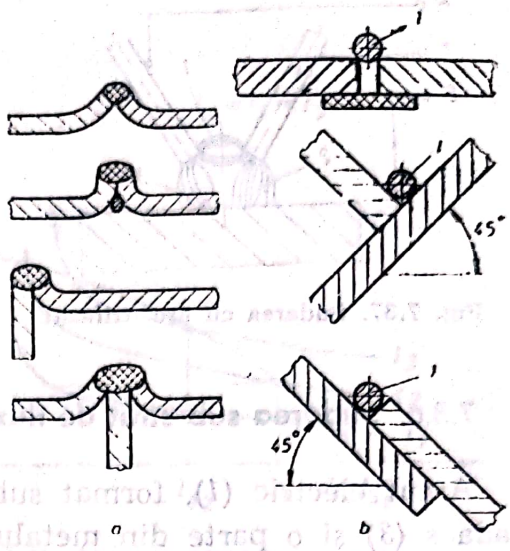


Fig. 7.36. Tipuri de îmbinări sudate cu electrozi din cărbune: *a* — fără material de adaos (grosimi pînă la 3 mm); *b* — cu material de adaos; *1* — vergele de metal, așezate de-a lungul cusăturii.

7.3.5.3. **Alte metode tehnologice de sudare cu arc deschis** sînt următoarele:

— *Sudarea cu flux magnetic* folosește un flux granulat metaloceramic, în locul pastei de pe electrod, cu proprietatea de a fi atras de sîrma neînvelită, sub acțiunea cîmpului magnetic circular generat la trecerea curentului de sudare. Granulele de flux se mențin de electrod, cu un strat de grosimea determinată de mărimea orificiului de trecere al rezervorului (*1*), figura 7.35. Magnetul de reținere (*2*) are rolul de a împiedica trecerea granulelor de flux cînd sîrma electrod nu se deplasează.

— *Sudarea cu electrozi din cărbune* se aplică, folosind electrozi din grafit, cu sau fără metal de adaos. Datorită stabilității arcului (temperaturi mai mari în pata catodică și anodică), lungimea arcului poate atinge 30...50 mm. Se aplică la sudarea metalelor și aliajelor ușor fuzibile cu pereți subțiri (fig. 7.36).

— *Sudarea cu arc electric trifazat* se folosește pentru stabilitatea arcului și sporirea randamentului sudării, precum și pentru încărcarea simetrică a rețelei. Cei doi electrozi înveliți sînt conectați la cele două faze ale unui transformator trifazat de sudare, iar faza a treia la piesă. Prin închiderea circuitului electric apar trei descărcări în arc: între electrozi (*1*) și între fiecare electrod și piesă (*2* și *3*), figura 7.37.

— *Sudarea cu electrod în jgheab* (fig. 7.38). Electrodul cu înveliș special subțire este culcat pe canalul cusăturii, peste care se așază o patină din cupru, între care a fost interpusă izolația de hîrtie. Piesa și un capăt al electrodului se conectează la sursa de sudare. După amorsare, în celălalt capăt al electrodului, arcul arde constant cu o lungime egală cu grosimea învelișului. Pe măsură ce se consumă electrodul și se formează baia de metal topit din metalul de bază și cel de adaos, arcul se deplasează în lungul cusăturii.

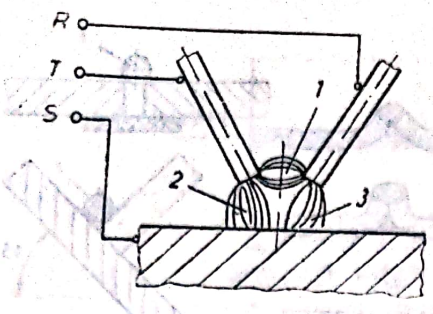


Fig. 7.37. Sudarea cu arc trifazat.

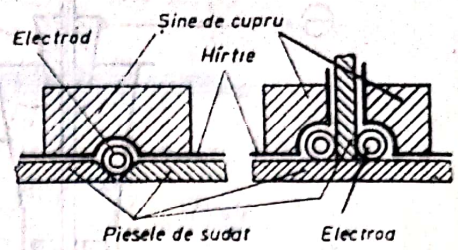


Fig. 7.38. Sudarea cu electrod culcat.

7.3.6. Sudarea sub strat de flux

Arcul electric (*1*), format sub stratul de flux (*2*), topește metalul de adaos (*3*) și o parte din metalul de bază (*4*), formînd o baie din metal lichid (*5*). Substanțele gazoase (vapori de metal și elementele din componența fluxului și aerului intergranular volatilizate la temperatura înaltă a arcului electric) formează o cavitate (*7*) alungită în sens invers sudării, acoperită de o peliculă de zgură topită. În urma arcului electric, metalul lichid se solidifică formînd cusătura sudată (*6*), iar zgura topită (*8*) după solidificare (*9*) poate fi ușor îndepărtată prin ciocănire (fig. 7.39).

Avansul sîrmei de adaos se face automat cu ajutorul *capetelor de sudare:*

- *automate cu avans variabil* (fig. 7.40) sînt utilizate la sursele de alimentare a arcului cu caracteristici puternic coborîtoare. Astfel, la variații mici ale lungimii arcului corespund variații mari ale tensiunii și variații mici ale curentului. Motorul de antrenare a sîrmei, de curent continuu (de cuplu mare), are turația reglată funcție de tensiunea U_a, adică la $U_{a_1} < U_a$ avansul sîrmei este ușor micșorat, de la $U_{a_2} < U_a$ avansul crește;

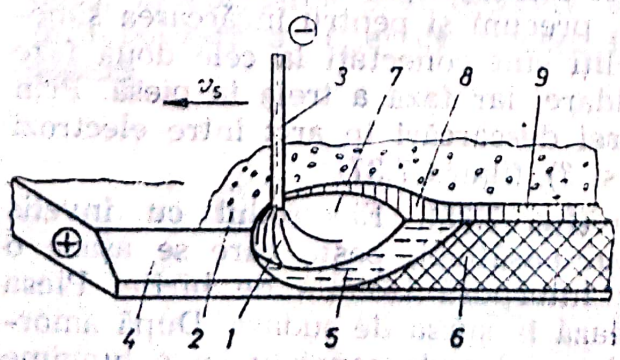


Fig. 7.39. Procesul formării cusăturii la sudarea automată sub strat de flux.

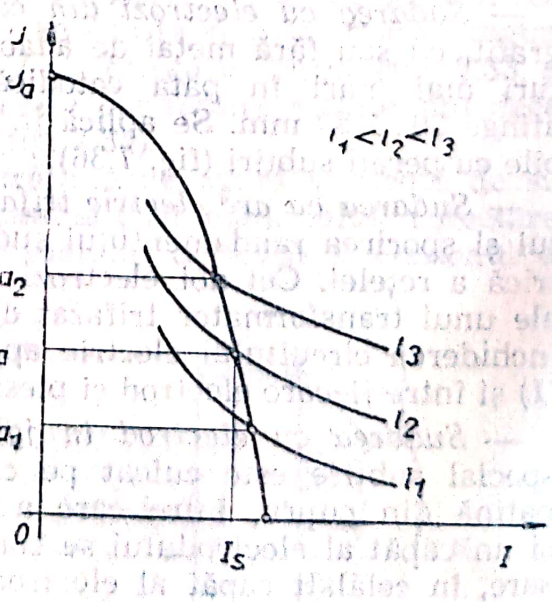


Fig. 7.40. Arderea arcului în cazul automatului cu avans variabil (caracteristică externă brusc coborîtoare).

• *automate de avans constant* (fig. 7.41) se folosesc pentru sursele de sudare cu caracteristici externe cu pantă coborîtoare lină. În aceste condiții, la reducerea lungimii arcului, crește curentul și deci viteza de topire a sîrmei electrod, iar la sporirea lungimii arcului, scade curentul și viteza de topire, menținîndu-se constantă lungimea arcului.

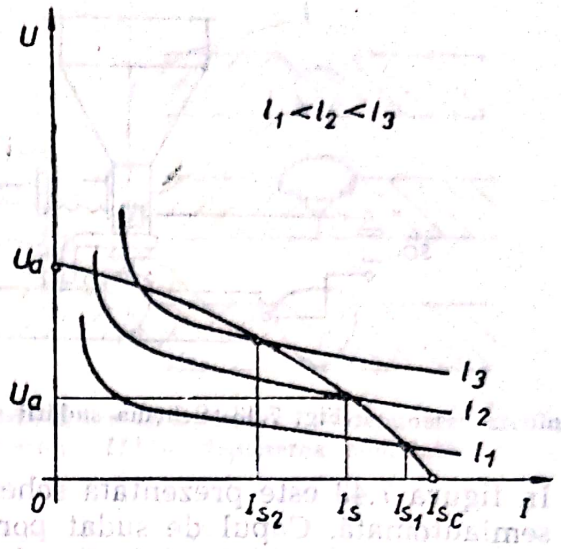


Fig. 7.41. Arderea arcului în cazul automatului cu avans constant (caracteristică externă cu pantă coborîtoare lină).

Funcție de realizarea deplasării relative între arc și piesă în lungul cusăturii, sudarea sub strat de flux poate fi:

a. Sudarea automată sub strat de flux, la care mișcarea de apropiere a sîrmei-electrod pentru păstrarea constantă a lungimii arcului și mișcarea de-a lungul cusăturii, se realizează în mod automat cu *tractorul* de sudare (fig. 7.42), alimentat de la o sursă de curent continuu sau alternativ, de puteri mari (I_s = 1000 ... 2000 A).

Deplasarea pentru realizarea vitezei de sudare (v_s) se face cu un motor trifazat care antrenează un cărucior, prevăzut cu role profilate pentru șinele de ghidare, pe care se află întregul automat. Odată cu deplasarea căruciorului, sîrma electrod (*1*) extrasă din casetă, este antrenată de role (*7*) și trece spre zona de sudare, prin patina (*2*) conectată la sursa de curent. Buncărul (*10*) conține flux granulat pe care îl depune sub un strat de secțiune constantă înaintea arcului. În unele cazuri, acesta poate fi dotat cu tubulatura (*8*) și aspiratorul (*9*) pentru recircularea fluxului netopit.

b. Sudarea semiautomată sub strat de flux constă în realizarea automată a avansului electrodului și manuală a mișcării în lungul cusăturii.

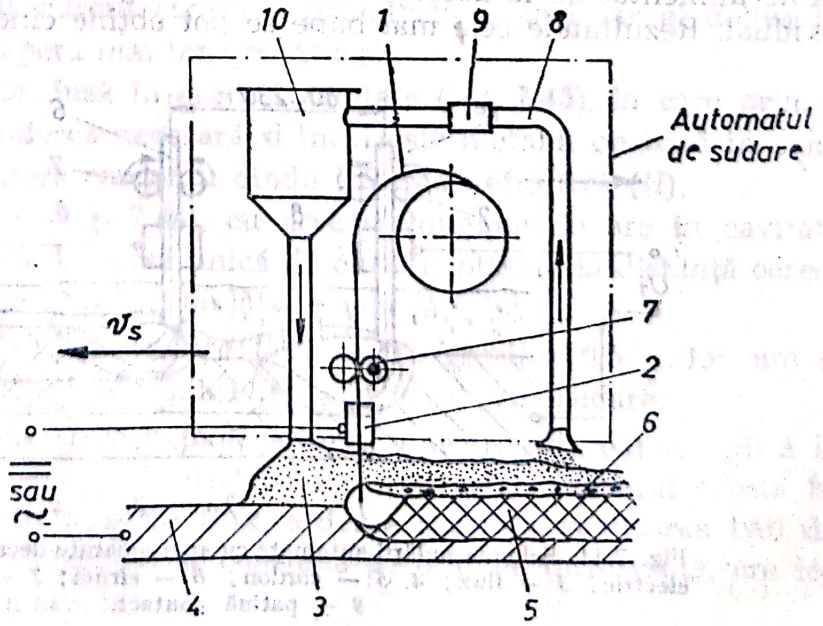


Fig. 7.42. Schema sudării automate sub strat de flux: *1* — sîrma de adaos; *2* — patină contact; *3* — strat de flux; *4* — piesa de sudat; *5* — cusătura; *6* — strat de zgură; *7* — role de avans; *8* — conductă; *9* — aspirator de flux; *10* — buncăr.

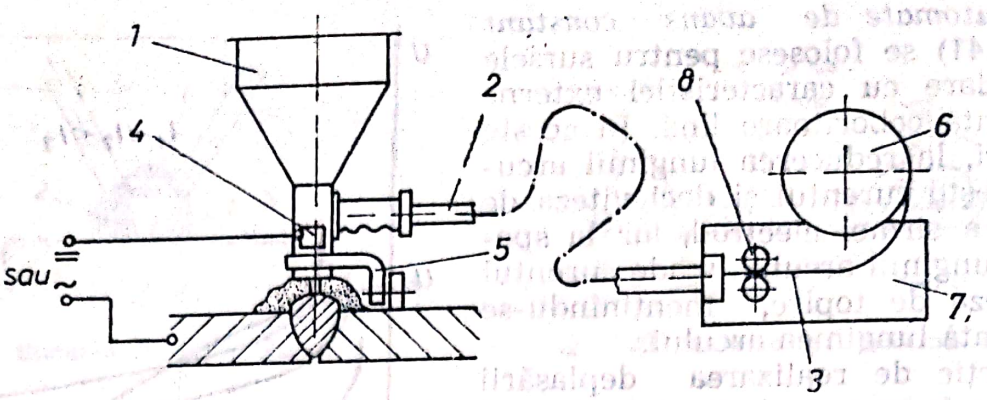


Fig. 7.43. Schema sudării semiautomate sub strat de flux.

În figura 7.43 este prezentată schema simplificată a instalației de sudare semiautomată. Capul de sudat portabil este prevăzut cu un rezervor de flux (*1*) și un tub flexibil (*2*) prin care trece sîrma electrod (*3*). Pentru păstrarea constantă a lungimii arcului, capul de sudare este prevăzut cu un distanțier reglabil cu role (*5*). Sîrma din caseta (*6*) este împinsă în interiorul tubului flexibil de către rolele (*8*) ale mecanismului (*7*) antrenat de un motor de curent continuu. Arcul este alimentat, de regulă, de la o sursă de curent continuu de $I_s = 500 \ldots 600$ A.

Sudarea automată sub strat de flux are o largă aplicare la îmbinarea pieselor din oțel carbon, oțeluri slab și mediu aliate, oțel inoxidabil, cupru, nichel, aluminiu, titan și aliajele acestora. Pot fi realizate suduri cu adîncimi de pătrundere de 1 ... 120 mm, la viteze de sudare de 10 ... 300 m/h, cu sîrme electrod de 1,2 ... 14 mm.

7.3.7. Alte metode de sudare sub strat de flux

• *Sudarea automată cu mai multe arce* este o metodă de sporire a productivității, în următoarele variante:

— cu arce separate în cavități diferite (fig. 7.44), în care fiecare arc este alimentat de la aceeași sursă de curent, însă cu cap de sudare individual. Rezultatele cele mai bune se pot obține cînd primul arc este ali-

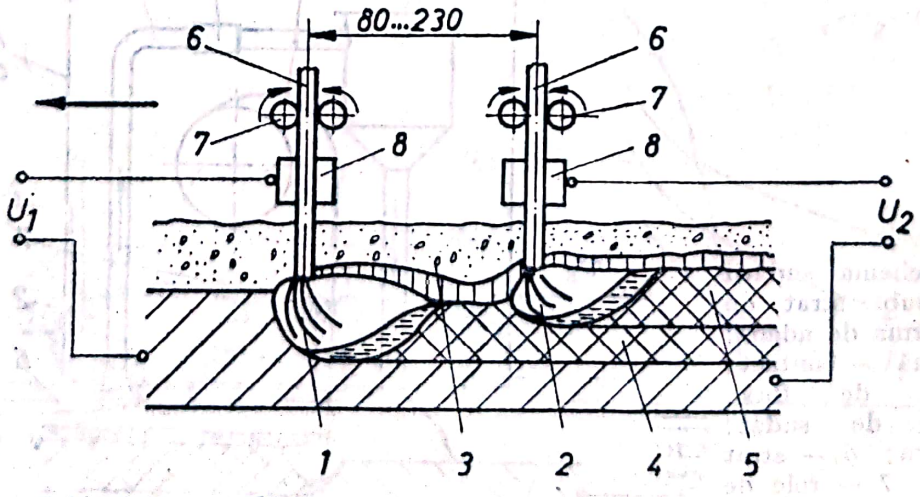


Fig. 7.44. Schema sudării automate cu arce separate decalate: *1, 2* — arc electric; *3* — flux; *4, 5* — cordon; *6* — sîrmă; *7* — role de avans; *8* — patină contact.

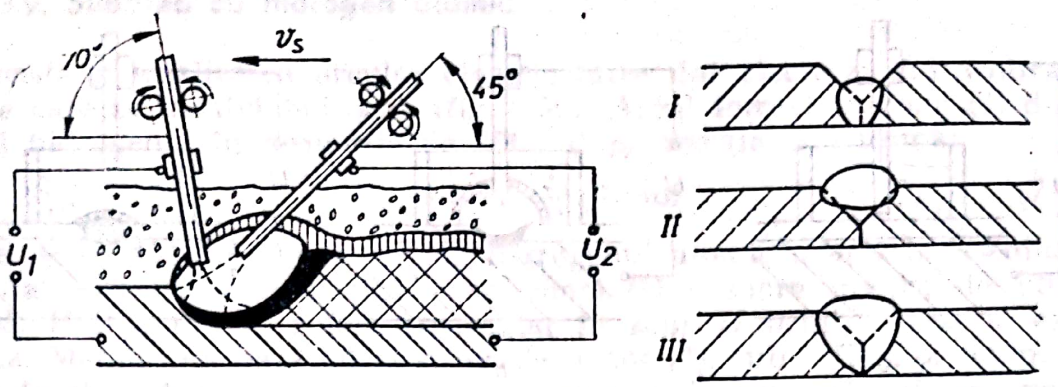


Fig. 7.45. Schema sudării automate cu arce separate în aceeași cavitate: *I* — depunerea arcului anterior; *II* — depunerea arcului posterior; *III* — depunerea cumulată.

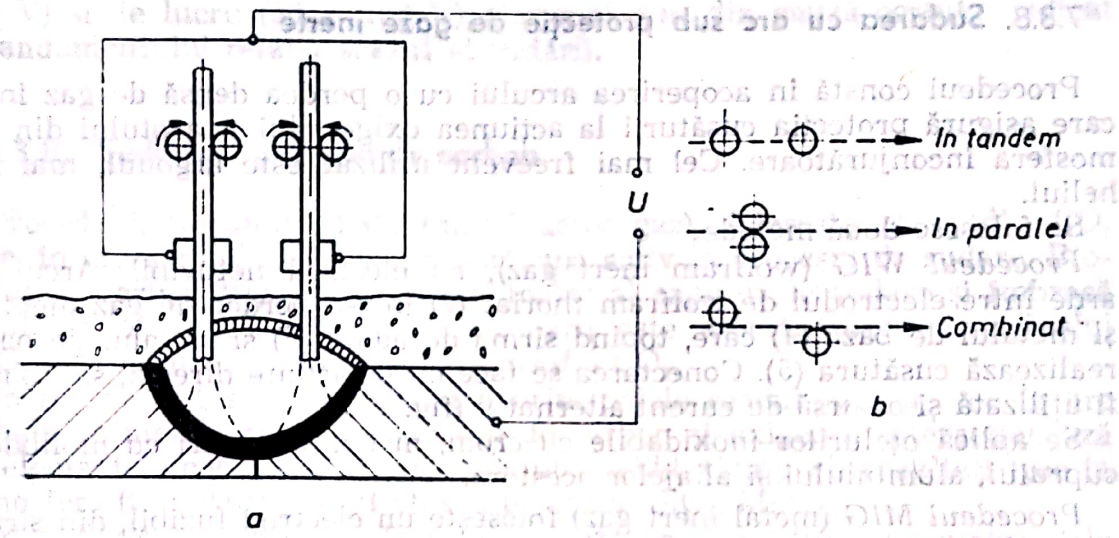


Fig. 7.46. Sudarea cu arce gemene: *a* — principiul metodei; *b* — scheme de lucru ale sîrmelor.

mentat de o sursă de curent continuu (penetrație mare), iar al doilea la curent alternativ (acoperă mai bine cusătura);

— cu arce separate, însă în aceeași cavitate (fig. 7.45), în care primul arc realizează pătrunderea necesară și încălzește metalul de bază în zonă (*I*), iar al doilea acoperă cordonul dîndu-i forma definitivă (*II*);

— cu arce gemene (fig. 7.46), cu aceeași lungime de arc în cavitate comună, alimentate de la sursă unică de curent; plasate la distanță corespunzătoare, arcele dau cusături de lățime sporită;

• *Sudarea automată cu electrod lamelar*, de grosime 0,5 ... 1,6 mm și lățime de 20 ... 100 mm, se aplică la încărcarea prin sudare;

• *Sudarea semiautomată în puncte topite* (electronituirea) se aplică la îmbinarea tablelor subțiri, cu electrod fix (fig. 7.47). Procesul constă în amorsarea arcului sub strat de flux, arderea acestuia, realizarea băii de metal topit și, cînd electrodul se consumă pe o anumită distanță, are loc stingerea de la sine a arcului.

Scanned with OKEN Scanner

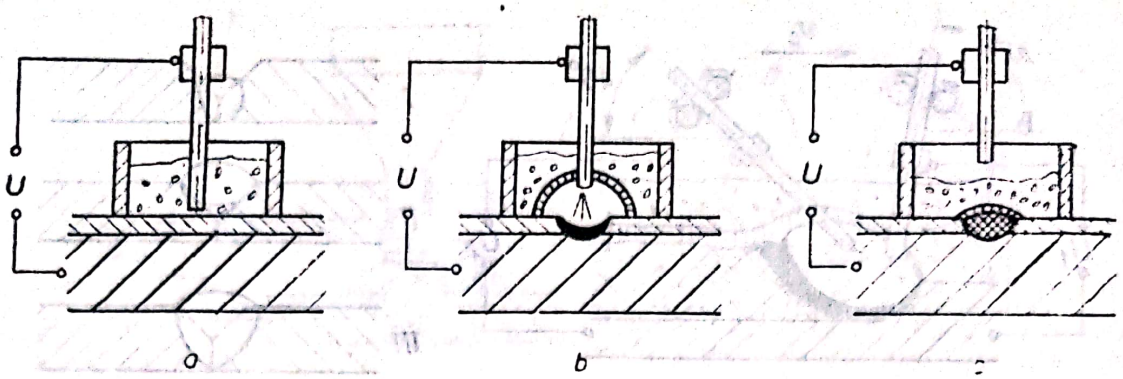


Fig. 7.47. Fazele principale ale procedeului electronituirii sub flux: *a* — starea inițială *b* — în timpul funcționării arcului; *c* — după stingerea arcului.

7.3.8. Sudarea cu arc sub protecție de gaze inerte

Procedeul constă în acoperirea arcului cu o perdea densă de gaz inert care asigură protecția cusăturii la acțiunea oxigenului și azotului din atmosfera înconjurătoare. Cel mai frecvent utilizat este argonul, mai rar heliul.

Se folosesc două metode:

Procedeul WIG (wolfram inert gaz), cu electrod nefuzibil. Arcul (*1*) arde între electrodul de wolfram thoriat (*2*) într-o perdea de gaz inert (*3*) și metalul de bază (*4*) care, topind sîrma de adaos (*6*) și metalul de bază, realizează cusătura (*5*). Conectarea se face cu polaritate directă, sau poate fi utilizată și o sursă de curent alternativ (fig. 7.48).

Se aplică oțelurilor inoxidabile cu crom, nichel și uneori cu molibden, cuprului, aluminiului și aliajelor acestora.

Procedeul MIG (metal inert gaz) folosește un electrod fuzibil, din sîrmă neînvelită (*2*) cu diametrul de 0,6 . . . 2 mm, antrenat cu viteza constantă (v_e) de mecanismul (*6*) printr-un ghidaj tubular din cupru (*7*) cu rol de contact electric. În jurul electrodului se realizează, prin destindere, perdeaua (*3*) de gaz inert (fig. 7.49).

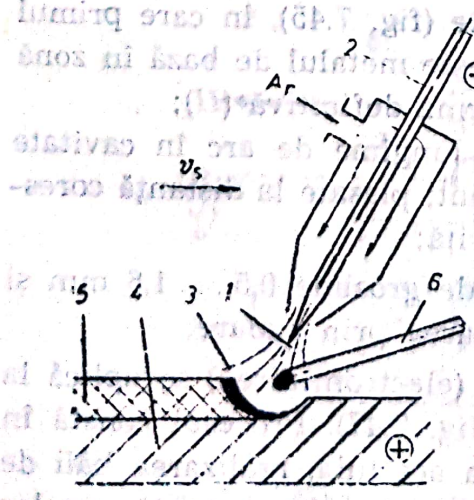


Fig. 7.48. Schema sudării prin procedeul WIG.

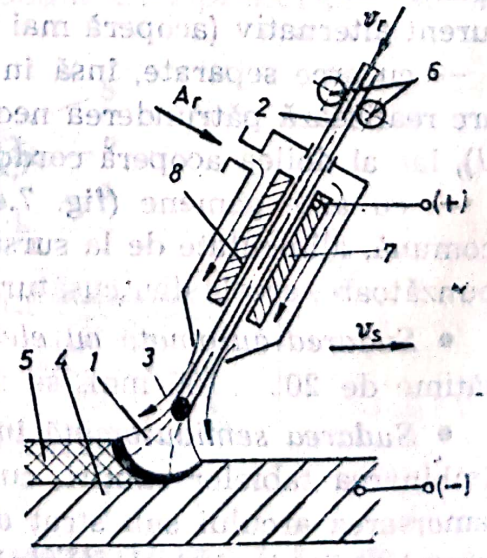


Fig. 7.49. Schema sudării prin procedeul MIG.

7.3.9. Sudarea cu hidrogen atomic

Constă în realizarea arcului electric între doi electrozi din wolfram, peste care se insuflă hidrogen (fig. 7.50). Arcul format în zona (*1*) disociază hidrogenul în proporție de 70%, după reacția endotermă:

$$H_2 \rightarrow 2H - Q \text{ (J/mol)} \qquad (7.12)$$

unde: $Q = 421.10^3$ J/mol. Astfel, hidrogenul atomic poartă o însemnată cantitate de energie calorică, dînd zonei (*1*) o mare intensitate luminoasă. Hidrogenul se reface molecular în zona *II* printr-o reacție exotermă. Metalul de bază (*3*) și sîrma de adaos (*2*), sub influența temperaturii foarte ridicate a acestei zone, se topesc și formează baia de metal și, apoi cusătura *(4)*, sub o pătură protectoare de hidrogen.

Se aplică rar la sudarea sau repararea pieselor din aliaje speciale (oțeluri înalt aliate, aliaje ușoare), datorită tensiunilor mari de amorsare (circa 300 V) și de lucru (50...100 V), dar mai ales din cauza costului ridicat și randamentului relativ scăzut al sudării.

7.3.10. Sudarea cu bioxid de carbon

Procedeul, denumit MAG (metal activ gaz), folosește ca mediu CO_2 care, în afara rolului protector, participă activ la procesul de sudare. Bioxidul de carbon trece prin spațiul inelar al capului de sudare și îmbracă arcul. În principiu, schema funcționării este asemănătoare procedeului MIG, însă în locul gazului inert se insuflă CO_2.

În figura 7.51 sînt schematizate principalele reacții care au loc în arc și baia de metal topit, unde oxidul de carbon și oxigenul interacționează cu elementele componente ale metalului lichid. Compușii rezultați trec în atmosferă (CO, vapori de H_2O) sau în zgură (SiO_2, MnO).

În vederea diminuării efectului de oxidare, se utilizează materialele de adaos din sîrme aliate cu elemente avide de oxigen (0,8...1,0% Si, 1,2...1,5% Mn).

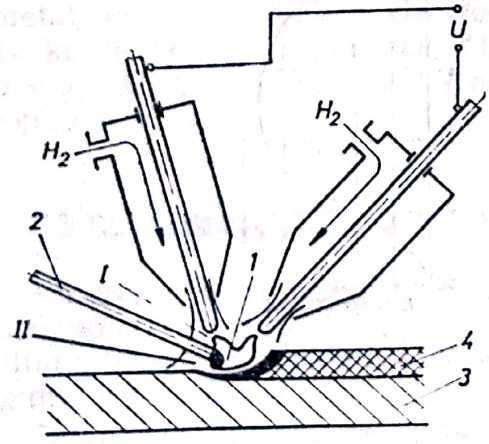


Fig. 7.50. Schema sudării cu hidrogen atomic.

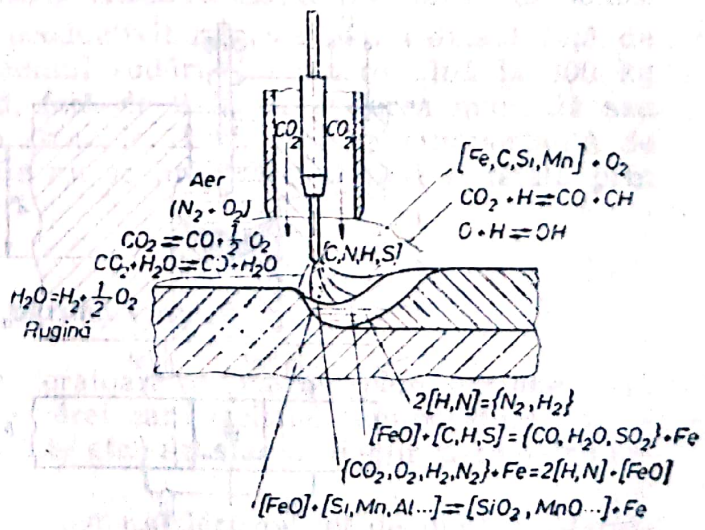


Fig. 7.51. Principalele reacții chimice în zona sudării cu bioxid de carbon.

Scanned with OKEN Scanner

Funcție de grosimea pieselor, procesul de sudare se desfășoară diferențiat: pentru table subțiri, se utilizează *arcul scurt*, de tensiune mică, cu transfer prin scurtcircuit, cu diametrul picăturii egal sau mai mare decît lungimea arcului; pentru piesele de grosimi mijlocii — *sudarea cu transfer globular*, cu picături egale sau mai mici decît lungimea arcului; pentru piese de grosime mare — *sudarea cu transfer prin pulverizare*, la care densitățile de curent sînt foarte mari (circa 200 A/mm^2), iar picăturile din metal de adaos sînt foarte mici.

Sudarea în CO_2 se aplică, de regulă, oțelurilor carbon și oțelurilor slab aliate cu 0,5 ... 1,0% Cr; 0,5% Mo și 0,2 ... 0,3% V.

Avantaje: productivitate ridicată; cost scăzut și pătrundere mare față de sudarea în mediu de gaze inerte; poate fi utilizat pentru suduri la poziție; marginile pieselor sînt mai puțin prelucrate; dirijarea vizibilă a arcului.

Dezavantaje: domeniu restrîns de oțeluri, datorită defectelor specifice (crăpături, pori etc.).

7.3.11. Sudarea în baie de zgură

Procesul de sudare se desfășoară de jos în sus pe verticală și constă din următoarele fenomene fizico-chimice: curentul de sudare trece prin sîrma de adaos (*1*), baia de zgură topită (*2*), baia de metal lichid (*3*) și închide circuitul prin metalul de bază (*4*); în baia de zgură are loc efectul Joule unde se dezvoltă o cantitate de căldură care menține baia formată din metal topit și zgură și topește în continuare materialul de adaos și marginile piesei; pe măsură ce se depune metal, baia se răcește în partea inferioară și formează cusătura (*5*); în baia de zgură și între aceasta și metalul lichid are loc un proces metalurgic complex, determinat, îndeosebi, de repartiția cîmpului termic pe adîncimea h a băii de metal lichid (fig. 7.52), unde temperatura cea mai ridicată este în zona băii de zgură; pentru ca zgura și metalul lichid să nu se scurgă, *patinele* din cupru, răcite cu apă, glisează pe verticală odată cu creșterea nivelului băii, închizînd spațiul de sudare.

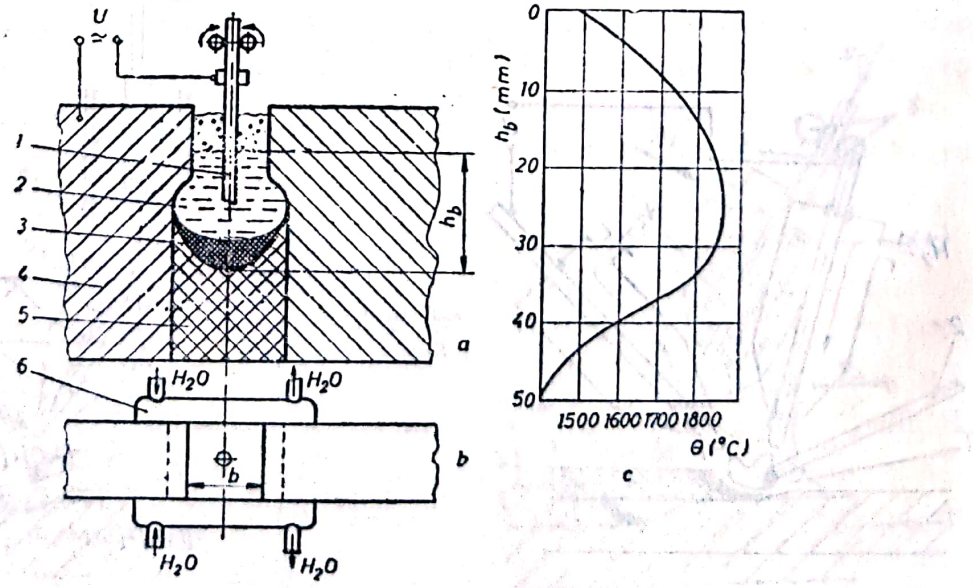


Fig. 7.52. Schema sudării în baie de zgură (*a*, *b*). Variația temperaturii în baia de metal și zgura topită (*c*).

În baia de zgură, la vîrful electrodului din sîrmă, unde temperatura este maximă, au loc reacții metalurgice de reducere a manganului și siliciului:

$$MnO + Fe \rightarrow FeO + Mn; \qquad (7.13)$$

$$SiO_2 + 2Fe \rightarrow 2FeO + Si, \qquad (7.14)$$

avînd ca efect trecerea treptată în zgură a oxizilor de Fe, urmată de încetinirea reacției. La suprafața de contact dintre baia de zgură și cea de metal au loc reacții de oxidare a fierului și carbonului:

$$Fe + Fe_2O_3 \rightarrow 3FeO; \qquad (7.15, a)$$

$$C + [0; MnO; SiO_2; FeO] \rightarrow CO; CO + Mn; 2CO + Si; CO + Fe. \qquad (7.15, b)$$

Celelalte elemente dăunătoare influențează nesemnificativ procesul metalurgic: sulful nu trece din baia de zgură în cusătură; fosforul trece în cantități mici și numai la începutul procesului.

La începutul sudării, are loc *amorsarea arcului*, în mod analog de la sudarea sub strat de flux, urmată de o fază de formare a băii topite din metal și zgură. Trecerea procesului metalurgic la faza staționară are loc pe măsură ce se formează baia topită, cînd *arcul se stinge* și sursa de căldură este asigurată, în continuare, numai prin *efectul Joule*. Sudarea se începe pe plăci-tampon împotriva scurgerii, atașate la partea inferioară a cusăturii, care se îndepărtează la încheierea operației. Cordonul de sudură și continuă, și după încheierea sudării la partea superioară, între 2 plăci tehnologice care se îndepărtează ulterior împreună cu retasura formată între ele.

Se utilizează la îmbinarea pieselor din oțel carbon și oțeluri aliate, însă rezultate din cele mai bune se obțin la oțeluri calmate. Grosimea elementelor asamblate poate fi de 40 ... 1000 mm, în următoarele limite ale regimului de sudare: $d = 2{,}5 \ldots 4$ mm; $v_e = 250 \ldots 350$ m/h; $v_s = 0{,}8 \ldots 1.5$ m/h; $U_a = 42 \ldots 48$ V; $I_s = 500 \ldots 700$ A; la grosimi mari este avantajos curentul alternativ, cum și folosirea mai multor sîrme de adaos.

Avantajele procedeului sînt: productivitatea cea mai ridicată față de toate celelalte procede din domeniul sudării (depunere pînă la 300 kg metal/oră la un singur electrod, față de 2 kg la sudarea manuală sau 12 kg la sudarea automată sub strat de flux); economie importantă de manoperă și materiale; marginile nu se pregătesc, putînd fi tăiate prin topire cu flacără.

7.3.12. Sudarea prin topire cu plasmă termică

Plasma termică se obține în generatoare de plasmă *(plasmatroane)* prin strictionarea jetului plasmei, ale cărei caracteristici (temperatură, stabilitate, intensitate, presiune, densitate etc.) satisfac pe deplin parametrii regimului de sudare.

În figura 7.53 este prezentată schema sudării cu jet de plasmă. Marginile celor două piese sînt topite și, sub presiunea jetului, baia de metal lichid este împinsă lateral (formînd un crater ca la sudarea cu arc

Scanned with OKEN Scanner

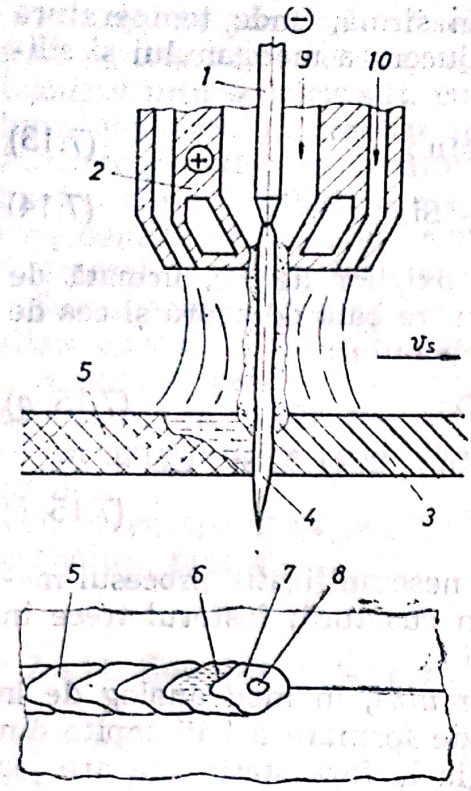


Fig. 7.53. Schema sudării cu plasmă: *1* — catod; *2* — anod; *3* — piesa de sudat; *4* — jet de plasmă; *5* — cusătură; *6* — baie de metal lichid; *7* — crater; *8* — orificiu; *9* — gaz plasmogen; *10* — gaz auxiliar.

deschis) și menținută prin tensiunea superficială pînă la cristalizare. Deoarece debitul de gaz plasmogen (argon, heliu) este insuficient pentru asigurarea protecției cusăturii, printr-un orificiu inelar *(10)* se insuflă un gaz auxiliar cu debit sporit (gaz plasmogen sau amestecat cu hidrogen).

Pot fi sudate toate materialele metalice, inclusiv cele sudabile numai în medii protectoare (procedeul WIG), într-un domeniu mai larg privind grosimea pieselor, cu un timp de execuție mai redus, fără pregătire deosebită a marginilor. Astfel, dacă prin WIG se pot realiza, la o singură trecere, cusături de 3 mm grosime, la sudarea cu plasmă 7 mm și în plus fără pregătirea cusăturii. La grosimi peste 7 mm sînt necesare două treceri, pe margini în Y, unghi la 60 . . . 70° și rădăcina de 4 . . . 5 mm.

Microplasma se utilizează la îmbinarea pieselor subțiri, fiind obținută în domeniul curenților mici (0,2 . . . 10 A). Arcul arzătoarelor de microplasmă este strictionat în duze cu alezajul de 0,8 mm, după sistemul arc transferat însoțit de arc pilot netransferat extern. Acest sistem de strictiune permite realizarea unei descărcări stabile cu lungime mare (pînă la 10 mm), cu care pot fi sudate piese din oțel inoxidabil, nichel, titan etc. de grosimi între 0,01 și 0,8 mm.

7.4. MATERIALE DE ADAOS PENTRU SUDAREA CU ARC

7.4.1. Rolul materialelor de adaos

Se consideră material de adaos *electrozii fuzibili* (partea metalică a electrodului învelit, sîrma pentru sudarea automată, banda pentru sudarea cap la cap a tablelor etc.) din care se formează în mare parte cordonul de sudură și *fluxurile* (învelișul electrodului, granulele pentru sudarea automată) care participă direct la procesul metalurgic și corectează compoziția chimică a băii. Caracteristicile și funcțiunile acestora sînt prezentate în tabelul 7.10.

Gazele protectoare și electrozii din materiale nefuzabile (grafit, wolfram etc.) nu sînt materiale de adaos.

În figura 7.54 este prezentat un mod de clasificare a principalelor materiale de adaos utilizate la sudarea cu arc.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 7.10

Caracteristici și funcțiuni ale materialelor de adaos

Denumirea	Rolul
Compoziția chimică	Să fie apropiată (pentru sîrmă, electrod) sau compatibilă cu cea a metalului de bază (pentru învelișul electrodului, fluxul de sudare) în vederea realizării echilibrului chimic de solubilitate totală a elementelor de aliere, atît în stare topită, cît și în timpul cristalizării.
Proprietățile mecanice	Să înlesnească realizarea de cordoane de sudură cu proprietăți mecanice apropiate de cele ale metalului de bază, în primul rînd, sporirea tenacității.
Structura	Să dea structuri cît mai omogene după solidificare, cu granulație normală și fără constituienți fragili.
Punctul de topire	Să aibă punctul de topire mai scăzut decît al metalului de bază, astfel ca să participe activ pe toată durata procesului metalurgic.
Condițiile de exploatare	Să participe la realizarea unui cordon de sudură care să corespundă condițiilor în care lucrează materialul de bază (mediu coroziv, temperatură, presiune, solicitări statice, dinamice, vibrații etc.).

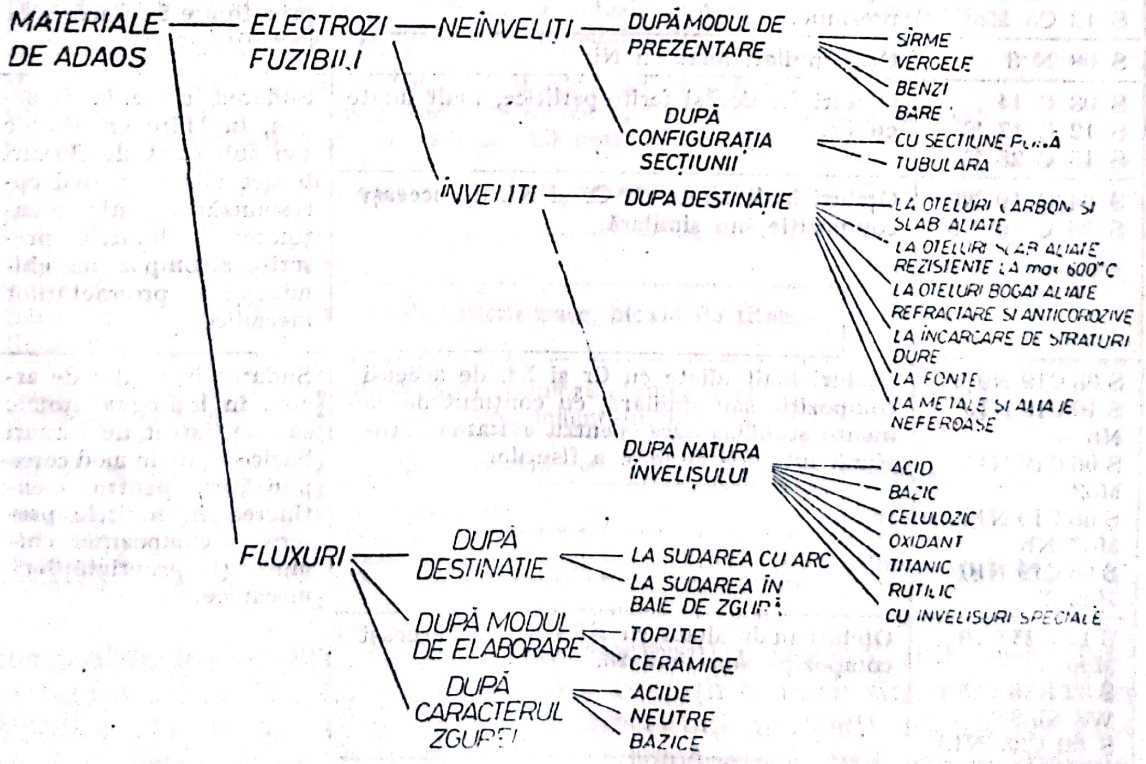


Fig. 7.54. Electrozi fuzibili și fluxuri pentru sudare.

Scanned with OKEN Scanner

7.4.2. Electrozii fuzibili

Sîrmele de sudură, cu dimensiuni şi calităţi standardizate, livrate ca vergele sau colaci, sînt materiale de adaos pentru sudarea electrică cu arc deschis, în medii protectoare, sub strat de flux sau în baie de zgură.

În tabelul 7.11 sînt prezentate domeniile de utilizare ale principalelor sîrme standardizate în România.

Tabelul 7.11

Domeniile de utilizare ale sîrmelor pentru sudare (extras din STAS 1126-80)

Marca sîrmei	Domeniul principal de utilizare	Alte utilizări, recomandate în anumite condiţii
S 10 S 10 X S 10 MX	Oţeluri uşor sudabile cu % redus de carbon, necalmate şi calmate, la majoritatea asamblărilor sudate.	Sudarea prin topire cu flacără de gaz şi automată sub strat de flux.
S 10 M S 10 M_1 S 12 M_2	Oţeluri de construcţie slab aliate cu Mn sau Mn—Si, uşor sudabile.	Sudarea sub strat de flux silico-manganos.
S 11 M2 S	Oţeluri carbon şi slab aliate cu Mn sau Mn—Si, uşor sudabile.	În special la sudarea în CO_2
S 12 M2 SC S 22 MSC S 22 MoC	Oţeluri slab aliate cu Mn—Si—Cr sau Mo—Cr, cu rezistenţă la rupere de 700—1000 N/mm²	Sudarea în mediu de gaz inert (argon) sau sub strat de flux bazic.
S 12 Mo S 12 MoC S 10 M2 S MoC	Oţeluri termorezistente pentru ţevi şi cazane de abur supraîncălzit şi cu înaltă presiune.	Sudarea în mediu de gaz inert (argon) sau sub strat de fluxuri bazice aliate în mod corespunzător.
S 12 C2 Mo S 12 C5 Mo	Oţeluri de cazane, rezistente la hidrogen sub presiune.	În unele cazuri şi sudarea prin topire în flacără de gaz.
S 08 N 3	Oţel similar, aliat cu Ni	
S 08 C 14 S 12 C 17 T S 15 C 25 T	Oţeluri feritice şi ferito-perlitice, înalt aliate cu Cr.	Sudarea în mediu de argon, în hidrogen atomic sau sub strat de fluxuri bazice aliate în mod corespunzător, pentru menţinerea în limitele prescrise a compoziţiei chimice şi a proprietăţilor mecanice.
S 04 C 19 N9 S 06 C 19 N9	Oţeluri înalt aliate cu Cr şi Ni, de aceeaşi compoziţie sau similară.	
S 08 C19 N9 T S 10 C19 N10 Nb S 06 C19 N11 Mo2 S 06 C19 N11 Mo2 Nb S 08 C19 N10 Mo2 T	Oţeluri înalt aliate cu Cr şi Ni, de aceeaşi compoziţie sau similară, cu conţinut de elemente stabilizatoare, pentru evitarea coroziunii intercristaline şi a fisurilor.	Sudarea în mediu de argon, în hidrogen atomic sau sub strat de fluxuri bazice aliate în mod corespunzător, pentru menţinerea în limitele prescrise a compoziţiei chimice şi proprietăţilor mecanice.
S 12 N25 C16 Mo6 S 32 N35 C15 W3 Nb 3T S 09 C25 N13	Oţeluri înalt aliate cu Ni şi Cr, de aceeaşi compoziţie sau similară.	
S 10 N 50	Oţeluri înalt aliate cu Ni.	

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 7.12

Modificări ale elementelor de aliere după sudare

Stadiul în care s-a făcut analiza	Elemente de aliere [%]					
	C	Mn	Si	N_2	O_2	H_2
Sîrmă — înainte de sudare	0,13	0,66	0,07	0,005	0,021	$9 \cdot 10^{-5}$
Metal — după sudare depus cu flacără	0,10	0,49	0,02	0,017	0,037	$6 \cdot 10^{-4}$
Metal — după sudare depus cu arc	0,03	0,20	0,02	0,140	0,210	$2 \cdot 10^{-4}$

Alegerea sîrmei de sudare impune o deosebită competență privind atît compoziția chimică inițială a acesteia și a materialului de bază, cît și modificările ulterioare ale compoziției sîrmei apărute în procesul metalurgic la sudare. În tabelul 7.12 sînt prezentate, în procente, modificările unor elemente de aliere într-o sîrmă de adaos, în cazul prin topire cu flacără de gaz sau cu arc electric.

De regulă pentru sudarea normală cu arc electric, se folosesc *electrozi înveliți*. În tabelul 7.13 sînt prezentate principalele materiale uzuale din

Tabelul 7.13

Materiale în compoziția învelișului electrozilor

Denumirea	Funcțiunea, rolul
Carbură de calciu (cretă, marmură, calcită); Bioxid de titan (rutil, ilmenit); Carbonat de potasiu (potasă, cenușă); Oxizi și săruri ale metalelor alcalino-pămîntoase	Ionizanți
Minereuri de titan, mangan și fier (rutil, ilmenit, rodomit, hematită, magnetită etc.); Silice și silicați naturali (cuarț, feldspat, mică, caolin etc.); Carbonați naturali (calcită, dolomită, magnezită).	Zgurifianți
Feroaliaje (feromangan, ferosiliciu, ferotitan, ferocrom), aluminiu, grafit.	Dezoxidanți
Feroaliaje și oxizi de metale.	Componenți de aliere
Săruri și oxizi ai metalelor alcalino-pămîntoase, bioxid de titan, fluorină etc.	Feldifianți
Substanțe organice: amidon, dextrină, celuloză, rumeguș etc. Substanțe minerale: carbonați de calciu, magneziu, bariu etc.	Gazeifianți
Silicați lichizi de sodiu și potasiu, dextrină etc.	Lianți.
Bentonită, dextrină, amidon, ciment etc.	Plastifianți
Pulbere de fier, pulbere de nichel, etc.	Componenți de adaos

compoziția învelișului. Dimensiunile electrozilor înveliți sînt prezentate în figura 7.55 și tabelul 7.14. Celelalte condiții tehnice sînt prevăzute în STAS 1125—81. În tabelul 7.15 sînt prezentate indicații orientative privind alegerea electrozilor de fabricație românească, utilizați la sudarea oțelurilor nealiate și slab aliate pentru construcții.

Scanned with OKEN Scanner

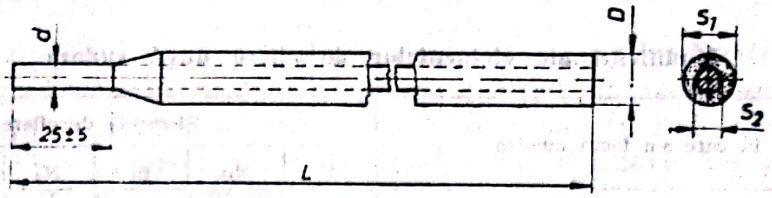


Fig. 7.55. Forma geometrică și dimensiunile electrodului cu înveliș.

Tabelul 7.14

Dimensiuni ale electrozilor înveliți
(extras STAS 1125-81)

Diametrul *d* [mm]	Lungimea *L* [mm]	
	Oțel calmat Oțel slab aliat	Oțel aliat
1,6	200 ; 250	200 ; 250
2,0	200 ; 250 ; 450	200 ; 250 ; 450
2,5	250 ; 350 ; 450	200 ; 350 ; 450
3,15 ; 3,25 ; 4,00	350 ; 450	350 ; 450
3,0 ; 6,0 ; 6,3 ; 8,0 ; 10,0 ; 12,5	450	350 ; 450

Tabelul 7.15

Indicații generale pentru alegerea electrozilor de sudare de fabricație românească

Destinația oțelului de sudat	Tipul electrodului	EL 38A	EL 42A	EL 38T	EL 44T	EL 46T	EL 44C	EL 42B	EL 46B	EL 50B	EL 55B
pentru construcții	OL 37	0	0	0	0	0	0	0	0		
	OL 42	X	0	X	0	0	0	0	0		
	OL 50							X	X	X	X
	OL 60							X	X	X	X
pentru țevi	OLT 32			0	0	0	0	0	0		
	OLT 35			0	0	0	0	0	0		
	OLT 45				0	0	0	0	0		
	OLT 55							X	X	X	X
pentru cazane	OL K_1		0		0	0		0	0		
	OL K_2		0		0	0		0	0		
	OL K_3				X	X		0	0		
pentru oțeluri slab aliate sudabile	10 M 16				0	0		0	0		
	19 M 10				0	0		0	0		
	17 MN 13					0		0	0	0	0
	25 SM 14							X	X	X	X

Legendă: X — sudare cu măsuri speciale
0 — sudare în condiții tehnologice obișnuite

Scanned with OKEN Scanner

7.4.3. Fluxurile pentru sudarea electrică

Fluxurile sînt amestecuri de minerale, sub formă de granule sau înveliș, avînd rolul de protecție a băii de metal topit, participare la procesul metalurgic și corectare a compoziției chimice prin elementele de aliere și dezoxidante, eliminare a gazelor formate în procesul de sudare, diminuare a vitezei de răcire la cristalizare și, în cazul sudării cu arc, de stabilizare a acestuia. Pot fi *fluxuri topite* — prin topirea împreună a elementelor componente sau *fluxuri ceramice* — prin amestecul mecanic al acestora.

Caracteristica chimică a fluxurilor pentru sudare este dată de capacitatea bazică B:

$$B = \frac{CaO + MgO + MnO}{SiO_2 + FeO + TiO_3} \qquad (7.16)$$

și pot fi acide cînd $B < 1$, neutre la $B = 1$ și bazice pentru $B > 1$. În fluxurile acide compușii perdominanți sînt SiO_2 și MnO iar, în cele bazice, CO_3Ca și CaF_2. Pentru completare, dependent de rețeta stabilită, se mai introduc FeO, Fe_2O_3, Al_2O_3, MnO, TiO_2, feroaliaje ș.a.

7.5. SUDAREA PRIN PRESIUNE

Sudarea prin presiune constă în aducerea la starea plastică sau topită și realizarea interacțiunii atomice în zona îmbinării, sub acțiunea unei forțe exterioare.

7.5.1. Sudarea prin presiune cu încălzire la flacără

Capetele pieselor sînt încălzite simultan cu arzătorul inelar (fig. 7.56) la temperatura cu plasticitate maximă (ex. la oțel 1200 ... 1250°C). Arzătorul execută o mișcare rectilinie alternativă de-a lungul axei, pentru evitarea supraîncălzirii sau topirii straturilor de suprafață. Sub acțiunea forței statice, cele două piese sînt presate axial (2000 ... 4000 N/cm²) și

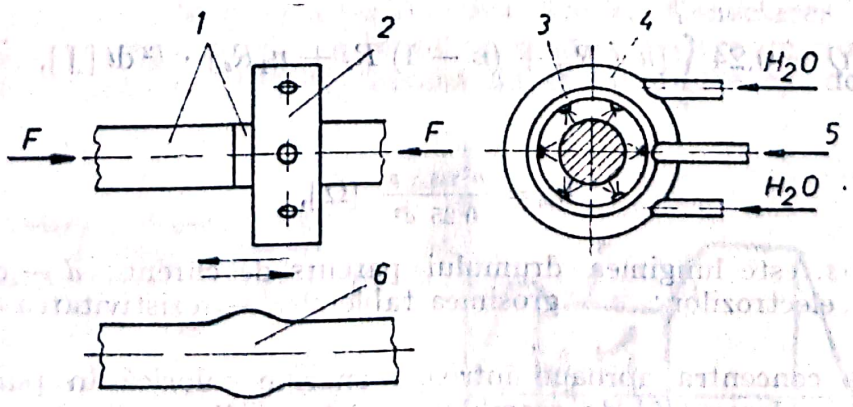


Fig 7.56. Sudarea prin presiune cu încălzire la flacără: *1* — piese de asamblat; *2* — arzător; *3* — suflaiuri; *4* — circuit de răcire; *5* — intrare amestec combustibil; *6* — sudură cap la cap.

Scanned with OKEN Scanner

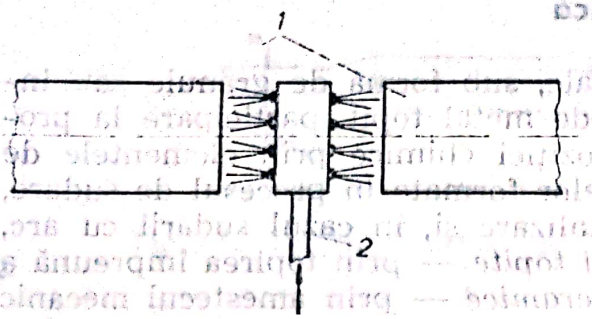


Fig. 7.57. Încălzirea frontală a pieselor de grosimi mari: *1* — piesele; *2* — arzătorul.

deformate (refulate) eliminîndu-se pelicula de oxizi în zona de contact și realizîndu-se sudura însoțită de o bavură. Pentru piese de secțiuni mari, se folosește un arzător frontal cu încălzirea uniformă a celor două suprafețe (fig. 7.57).

Procedeul se aplică la sudarea cap la cap în stare plastică la cald pentru: șine de cale ferată, țevi de diametre mari (300...600 mm) etc.

7.5.2. Sudarea electrică prin rezistență

Procedeul tehnologic constă în încălzirea locală a pieselor în contact, produsă la trecerea curentului electric printr-un circuit de conductori (legea Joule-Lentz), conform relației.

$$Q = 0{,}24 \int_0^t I^2 R \, dt, \qquad (7.17)$$

în care: Q este cantitatea de energie calorică, în J; R — rezistența ohmică a circuitului, în Ω; I — intensitatea curentului în secundarul transformatorului, în A; t — timpul, în s.

Relația este valabilă cînd, în timpul încălzirii, intensitatea curentului și rezistența circuitului nu se mențin constante (cazul sudării prin rezistență). Din figura 7.58 rezultă că la sudarea în puncte, rezistența circuitului de sudură se compune din:

$$\Sigma R = n \cdot R_m + (n - 1) R_c + n_1 R_e, \qquad (7.18)$$

în care: R_m este rezistența materialului de bază; R_c — rezistența punctului de contact între elementele de îmbinare; R_e — rezistența punctului de contact între electrozi și metal; n — numărul de table; n_1 — numărul de electrozi.

Așadar, cantitatea de căldură degajată este dată de relația:

$$Q = 0{,}24 \int_0^t [n \cdot R_m + (n - 1) R_c + n_1 R_e] \cdot I^2 \, dt \, [\text{J}], \qquad (7.19)$$

unde:

$$R_m = \frac{n \cdot s \cdot \rho}{0{,}25 \, d^2} \, [\Omega], \qquad (7.20)$$

în care: $n \cdot s$. este lungimea drumului parcurs de curent; d — diametrul la vîrf al electrozilor; s — grosimea tablei; ρ — rezistivitatea materialului.

Pentru a concentra aproape întreaga energie calorică în punctul de contact între elementele de asamblat, rezistența R_c în acest punct trebuie să fie cît mai mare. Rezistența punctului de contact între electrozi și metal (R_e) trebuie să fie minimă pentru a favoriza trecerea

Scanned with OKEN Scanner

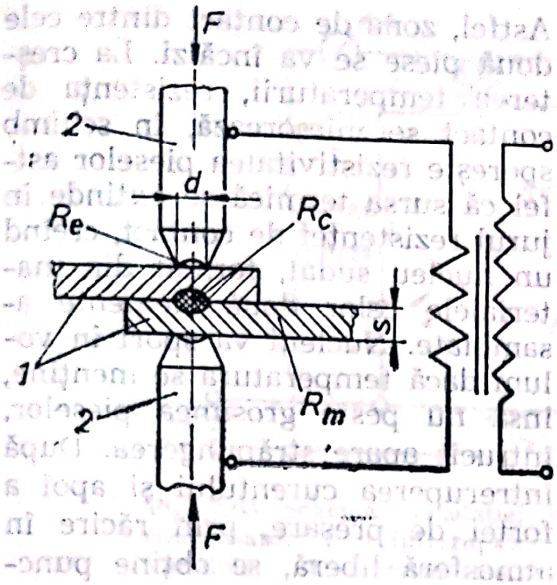


Fig. 7.58. Schema sudării în puncte: *1* — piesele; *2* — electrozii.

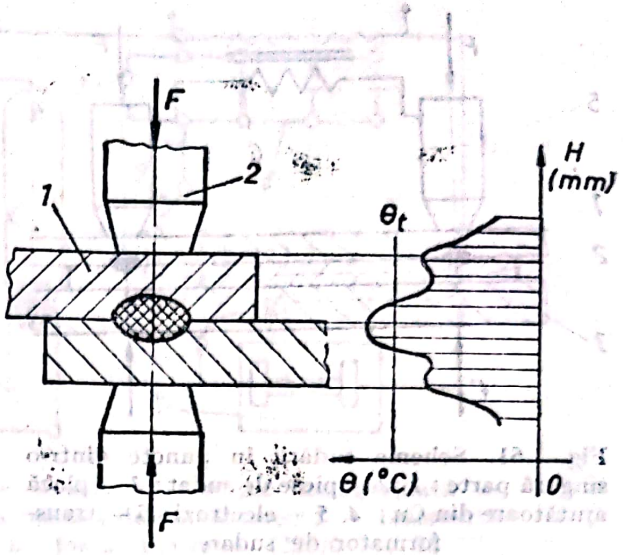


Fig. 7.59. Variația cîmpului termic: θ — temperatura; θ_t — temperatura de topire.

curentului, fapt pentru care se impune curățirea punctelor de contact ale celor doi electrozi.

În figura 7.59 este reprezentată variația cîmpului termic la contactul între două table din oțel *(1)*, apropiate de forța *F* între electrozi *(2)* parcurși de curentul *I*, unde încălzirea maximă se obține în punctul de contact între piesele de sudat.

Sursa de alimentare cu energie electrică este, de regulă, transformatorul de construcție specială, cu puteri cuprinse în limitele 0,5 . . . 500 kVA, putînd furniza curenți foarte mari de 5000 . . . 30000 A, la tensiuni secundare relativ mici 0,3 . . . 25 V.

Procesul de sudare prin rezistență electrică se desfășoară pe baza unui ciclu numit *cadență de sudare*, în cadrul căruia se găsesc într-o ordine tehnologică faze electrice și mecanice ale operației (fig. 7.60).

7.5.2.1. Sudarea în puncte. Funcție de realizarea circuitului electric, se utilizează următoarele variante:

Sudarea în puncte din două părți (fig. 7.58) se face între piesele *1*, de către electrozii *2* alimentați la un transformator de sudare, sub acțiunea celor două forțe *F* egale și de sens contrar. Conectarea la sursa de curent se face după realizarea presiunii, cînd ia naștere un curent a cărui densitate maximă se află în coloana de metal dintre cei doi electrozi.

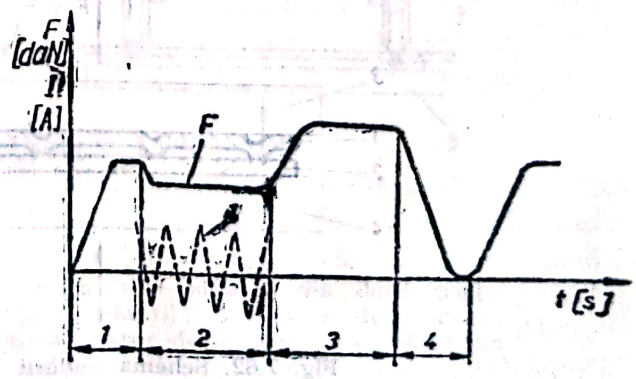


Fig. 7.60. Diagrama cadenței de lucru: *1* — faza de amorsare, timpul între pornire spre piesă a electrodului mobil și creșterea bruscă a presiunii la 10 . . . 50 N/mm²; *2* — faza de sudare, corespunde trecerii curentului, presiunea rămîne constantă sau scade funcție de aliaj; *3* — faza de forjare (deformarea plastică), are loc după întreruperea curentului, cu creșterea presiunii; *4* — faza de răcire.

Scanned with OKEN Scanner

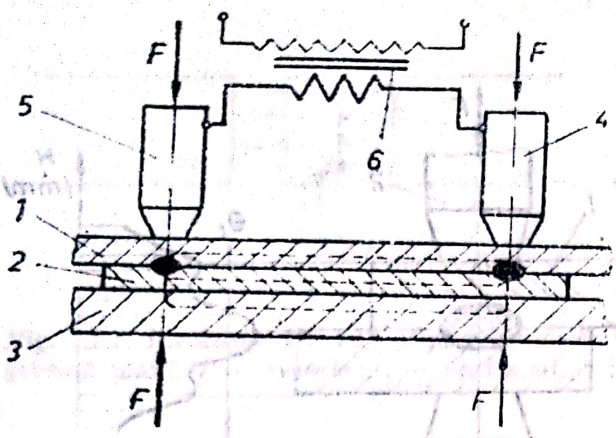


Fig. 7.61. Schema sudării în puncte dintr-o singură parte: *1, 2* — piese de sudat; *3* — placă ajutătoare din Cu; *4, 5* — electrozi; *6* — transformator de sudare.

Astfel, zona de contact dintre cele două piese se va încălzi. La creșterea temperaturii, rezistența de contact se micșorează, în schimb sporește rezistivitatea pieselor astfel că sursa termică se extinde în jurul rezistenței de contact, creînd un nucleu sudat, format din materialele celor două elemente asamblate. Nucleul va spori în volum dacă temperatura se menține, însă nu peste grosimea pieselor, întrucît apare străpungerea. După întreruperea curentului și apoi a forței de presare, prin răcire în atmosferă liberă, se obține punctul sudat.

Sudarea în puncte dintr-o singură parte (fig. 7.61) se folosește la realizarea în serie a două puncte de sudură. O placă din cupru, avînd rolul de electrod comun intermediar, permite închiderea unei părți importante a curentului prin punctele de contact și realizarea sudurii.

Procedeul se aplică la asamblarea tablelor și profilelor din oțel și metale neferoase (carcase, învelitoare, ansambluri de configurație complexă etc.), de aceeași grosime sau grosimi diferite cînd raportul acestora $s_{max}/s_{min} \leqslant 3$. Dacă se sudează trei elemente, cel mai gros este amplasat la mijloc.

Sudarea prin rezistență în puncte poate fi aplicată și în următoarele variante:

— *sudarea în relief* (fig. 7.62) a mai multor puncte simultan; densitatea maximă de curent se realizează în dreptul proeminențelor de pe una din piesele de asamblat (*1* și *2*); forța de presare (*F*) și conectarea la sursa de alimentare *(5)* se realizează prin cei doi electrozi plani *(3* și *4);*

— *sudarea cu energie înmagazinată în condensator* este unul din puținele procedee de sudare care permite asamblarea foliilor subțiri, sîrmelor, știfturilor etc., în general a secțiunilor sub 1 mm².

Schema de principiu a instalației alimentată la o rețea de curent alternativ este reprezentată în figura 7.63. Funcționarea acesteia cuprinde două

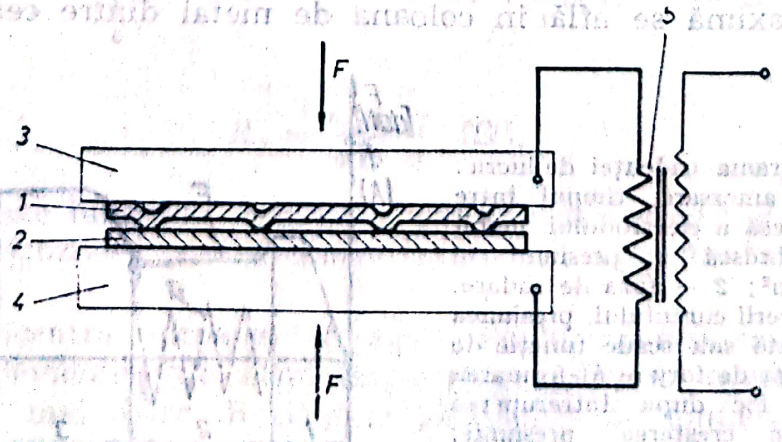


Fig. 7.62. Schema sudării în puncte în relief.

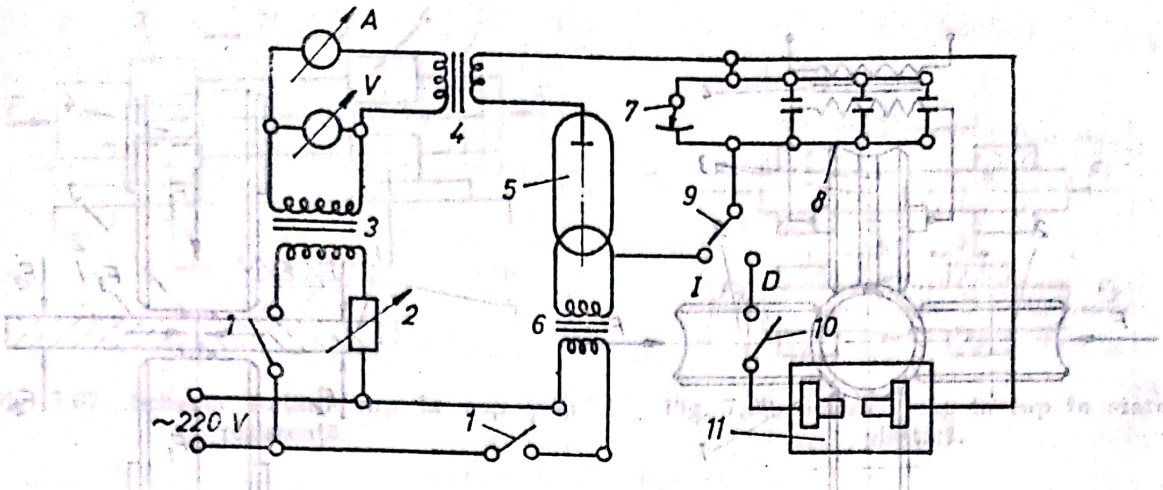


Fig. 7.63. Schema instalației de sudare cu energie înmagazinată în condensator: *1* — întrerupător la rețeaua de alimentare; *2* — rezistență variabilă; *3* — transformator de joasă tensiune (220/0 ... 75 V); *4* — transformator de înaltă tensiune (0 ... 75/7000 V); *5* — diodă (lampă) redresoare; *6* — transformator coborîtor de tensiune pentru alimentarea catodului (220/1 ... 12 V); *7* — voltmetru electrostatic; *8* — baterie de condensatori de 40 ... 500 μF la 5 kV; *9* — punte de legătură; *10* — întrerupător de sudare; *11* — dispozitiv de sudare.

etape: *încărcarea* bateriei de condensatori (*8*) cînd puntea (*9*) se găsește în poziția *(I)* și *descărcarea* energiei înmagazinează (în poziția *D*).

7.5.2.2. **Sudarea în linie.** Sudura se formează dintr-o succesiune de puncte, parțial suprapuse, rezultînd o cusătură etanșă (fig. 7.64). Se realizează cu două role, dintre care una este motrice, alimentate la o sursă de curent.

Variante ale sudării în linie:

— *sudarea cap la cap cu role* (fig. 7.65) se aplică la asamblarea țevilor pe generatoare; modelată din bandă de oțel, țeava *(1)* este presată și antrenată de rolele *(2)*; perpendicular pe direcția de acționare a forței *F* se află rola de contact *(3)* și rola de sprijin *(5)*; se sudează, fără adaos de material, țevi cu diametrul de 10 ... 400 mm și grosime de 0,5 ... 14 mm;

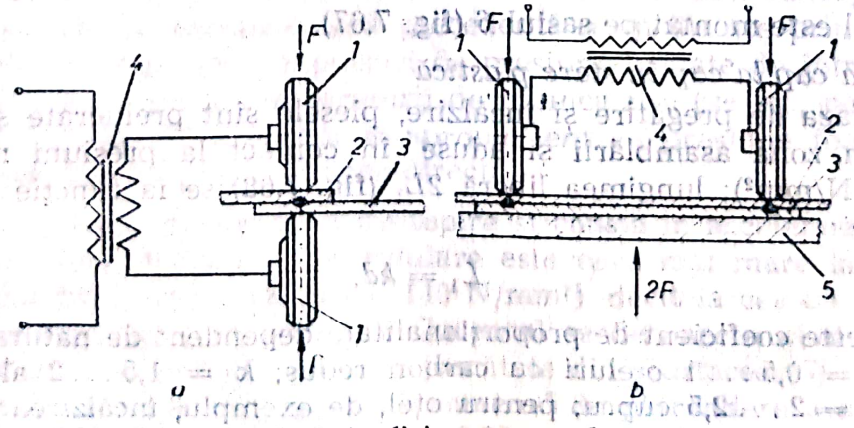


Fig. 7.64. Schema sudării în linie: *a* — sudarea din două părți; *b* — sudarea dintr-o parte (două cusături); *1* — role de contact; *2, 3* — piese de sudat; *4* — transformator de sudare; *5* — placă din cupru.

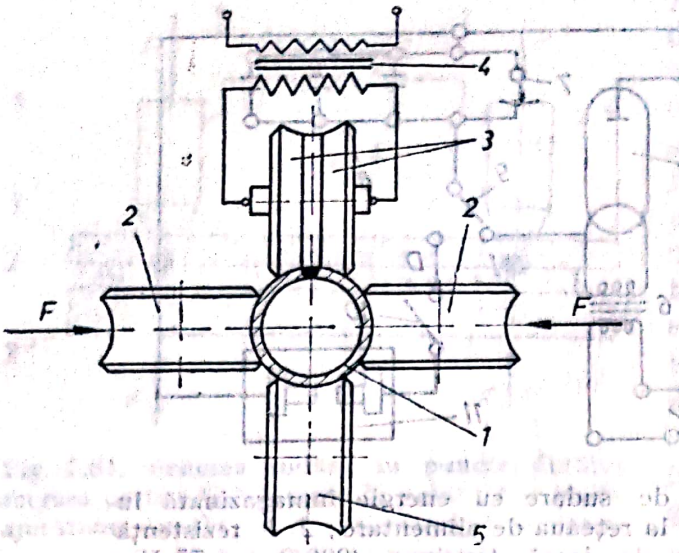


Fig. 7.65. Schema sudării cap la cap, cu role.

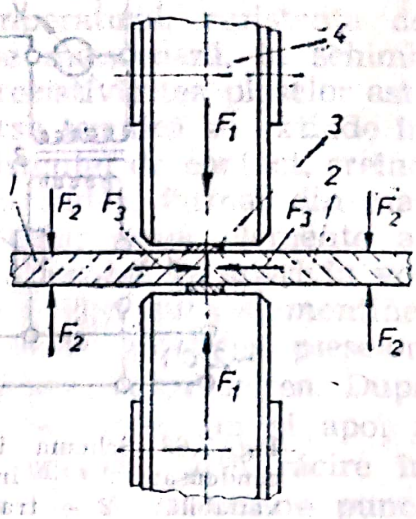


Fig. 7.66. Schema sudării prin rezistență cu metal de adaos.

— *sudarea în linie cu metal de adaos* (fig.7.66): tablele (*1* și *2*) se așază cap la cap între două benzi de material (*3*) strînse cu forța (F_1) de rolele (*4*); lateral, prin role ajutătoare, tablele sînt presate cu o forță $F_2 > F_1$. Căldura generată în zona de contact aduce piesele (*1*, *2*) și adaosul (*3*) în stare plastică, concomitent cu apariția unei noi forțe de presare F_3 datorită dilatării.

Sudarea în linie are un domeniu larg de utilizare: oțeluri cu carbon redus (0,08 ... 0,15%C), oțeluri inoxidabile, alame și bronzuri cu siliciu.

Se aplică la îmbinări de rezistență și etanșeitate: rezervoare de automobil și avion, țevi sudate pe generatoare, asamblarea estetică cap la cap a tablelor, ambalaje etanșe etc.

7.5.2.3. **Sudarea cap la cap.** Constă în realizarea îmbinării în stare plastică sau topită, sub acțiunea forței F. Încălzirea se face prin rezistența de contact a părților frontale ale pieselor de îmbinat (*1* și *2*), prinse între două dispozitive de strîngere (*3* și *4*) prin care se transmite curentul electric de la secundarul transformatorului de sudare (*5*). Întreg ansamblul este montat pe șasiul *6* (fig. 7.67).

Sudarea cap la cap în stare plastică

— în faza de pregătire și încălzire, piesele sînt prelucrate și curățate chimic în zona asamblării și aduse în contact la presiuni mici (p_i = 10 ... 15 N/mm²); lungimea liberă $2L_1$ (fig. 7.68) se ia funcție de diametrul piesei:

$$L_1 = kd, \tag{7.21}$$

unde: k este coeficient de proporționalitate dependent de natura materialului; k = 0,5 ... 1 oțeluri cu carbon redus; k = 1,5 ... 2 aluminiu și alame; k = 2 ... 2,5 cupru; pentru oțel, de exemplu, încălzirea se face la 1200 ... 1250°C.

— faza de refulare are loc la p_r = 15 ... 30 N/mm² pentru regim moale (densități mici de curent și durate lungi) și p_r = 35 ... 50 N/mm² pentru

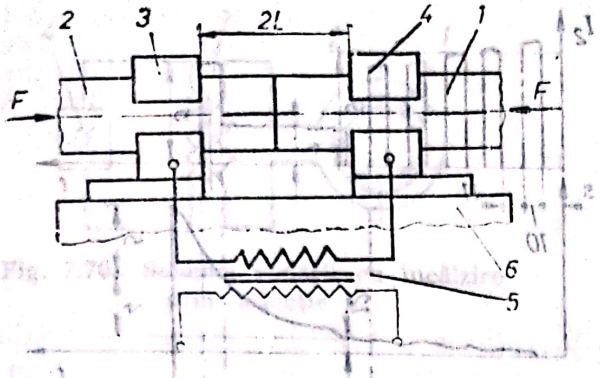


Fig. 7.67. Schema sudării cap la cap prin rezistență.

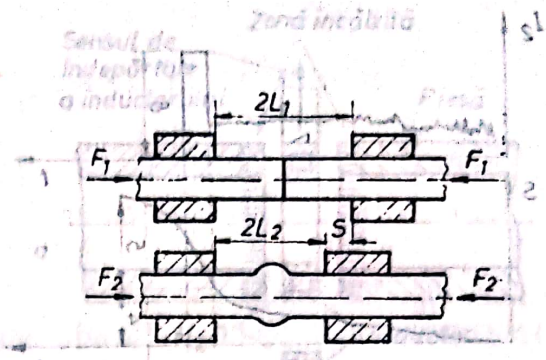


Fig. 7.68. Sudarea cap la cap în stare plastică.

regim dur (densități mari de curent și durate scurte), prin deplasarea uneia din fălcile de prindere. La o anumită deformare plastică se întrerupe curentul și forța de acționare, pe bază de contactoare limitatoare de cursă. După răcire, îmbinarea prezintă o îngroșare și o scurtare de refulare (S).

Sudarea cap la cap prin topire se face cu încălzirea pînă la topire a unei pelicule de pe fețele frontale ale pieselor și expulzarea acesteia din îmbinare, împreună cu oxizii și celelalte impurități, în timpul presării cu viteză mare.

Faza topirii în capete se poate obține direct sau cu preîncălzire.

Topirea directă (sudarea prin scîntei) se obține prin apropierea capetelor cu viteză redusă. Contactele parțiale între fețele frontale au o rezistență electrică mare și se încălzesc rapid (în circa 0,01 s), formînd punți lichide; acestea, datorită forțelor electromagnetice și tensiunii superficiale, se deplasează spre periferia interstițiului. În plus, configurația punților de metal lichid sporește densitatea de curent în zona centrală și, în urma unui mecanism asemănător celui de transfer de metal în arc, vaporii de metal creează suprapresiuni care produc dezagregarea punților și eliminarea parțială a metalului sub formă de scîntei.

Topirea cu preîncălzire este asemănătoare cu topirea directă, cu deosebirea că într-o fază precedentă se încălzește prin contacte intermitente în urma unor impulsuri de presiune urmate de întreruperea contactelor. La atingerea temperaturii de preîncălzire (de ex., pentru oțel 770 . . . 1070°C) cele două capete se apropie lent cu presiune foarte mică și se continuă procesul ca la topirea directă.

Refularea urmează fazei de topire și constă în accelerarea bruscă a uneia din piese. Presiunea de refulare este ceva mai mare la sudarea cu topire directă (pentru oțel 80 . . . 140 N/mm²) decît la cea cu preîncălzire (pentru oțel 40 . . . 60 N/mm²). Curentul se deconectează după începerea refulării astfel că aproximativ jumătate din scurtarea (S) să se facă sub curent. În acest mod nu apare fenomenul de pătrundere a aerului în interstițiu înaintea refulării. În figura 7.69 este reprezentată variația curentului de sudare (I_s), a scurtării (S) și a presiunii (p) funcție de durata procesului (t).

Scanned with OKEN Scanner

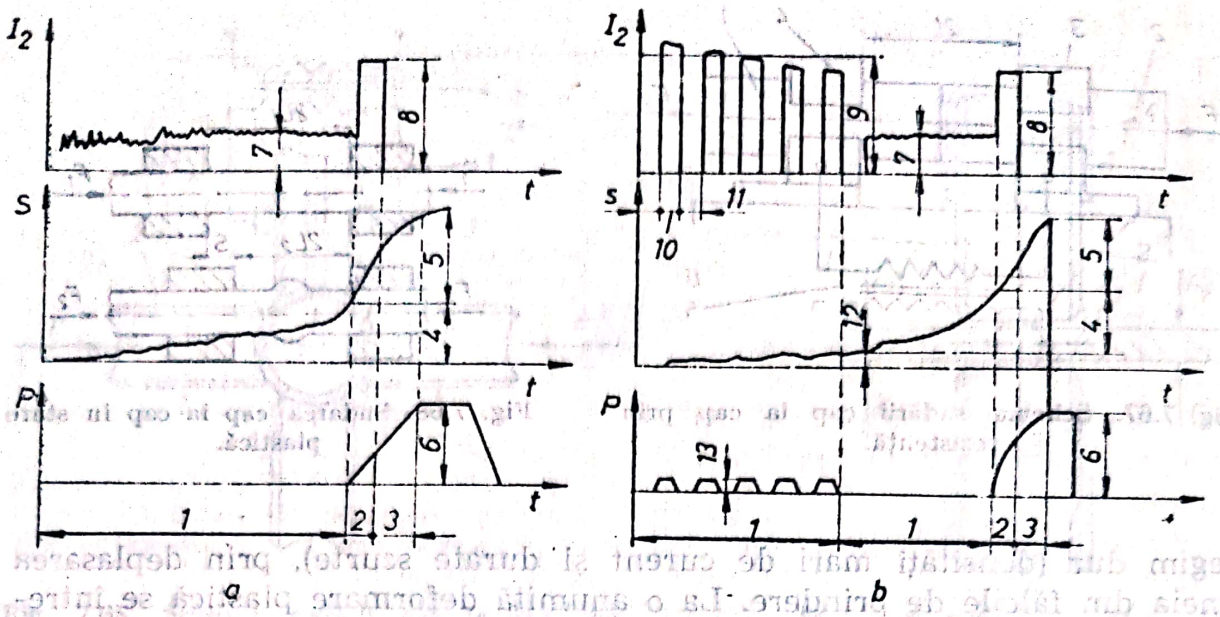


Fig. 6.69. Variația curentului (I_s), a scurtării (S) și a presiunii (p) la sudarea cap la cap prin topire: *a* — topirea directă (prin scînteie); *b* — topirea cu preîncălzire; *1* — preîncălzirea; *2* — refularea sub curent; *3* — refularea fără curent; *4* — scurtarea la topire; *5* — scurtarea la refulare; *6* — presiunea la refulare; *7* — curentul la topire; *8* — curentul la refulare; *9* — curentul la preîncălzire; *10* — timp de sarcină; *11* — timp de repaos; *12* — scurtare la preîncălzire; *13* — presiunea la preîncălzire.

Sudarea cap la cap se aplică la asamblarea pieselor cu diametrul echivalent sub 15...20 mm: axe cardanice, căi de rulare, zale de lanț, inele, benzi etc.

7.5.3. Sudarea cu încălzire prin inducție

Pentru sudarea la presiune cu încălzirea prin inducție, poate fi folosită o sursă de curent alternativ de frecvență corespunzătoare și un inductor adecvat configurației zonei îmbinării. Încălzirea inductivă poate fi estimată prin grosimea stratului de suprafață al metalului în care se degajă circa 90% din energia calorică:

$$\delta = k\sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}}, \qquad (7.22)$$

unde: δ este adîncimea de pătrundere a încălzirii; k — factor de proporționalitate; ρ — rezistivitatea; μ — permeabilitatea magnetică; f — frecvența.

În figura 7.70 este reprezentată schema instalației pentru sudare cu încălzire prin inducție, compusă din: un echipament de înaltă frecvență *(4)*, care prin circuitul de încărcare, alimentează primarul unui transformator *(3)*; secundarul alimentează inductorul *(2)* — o spiră răcită cu apă, aflat în zona de lucru (piesa *1*).

Se aplică la sudarea țevilor cu pereți groși (maximum 15 mm) (fig. 7.71, *a*) sau cu pereți subțiri (fig. 7.71, *b*). Frecvența poate fi 2...500 kHz. Datorită costului ridicat, procedeul este rentabil pentru oțeluri austenitice, aluminiu etc.

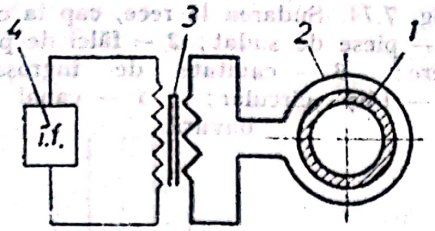


Fig. 7.70. Schema sudării cu încălzire prin inducție.

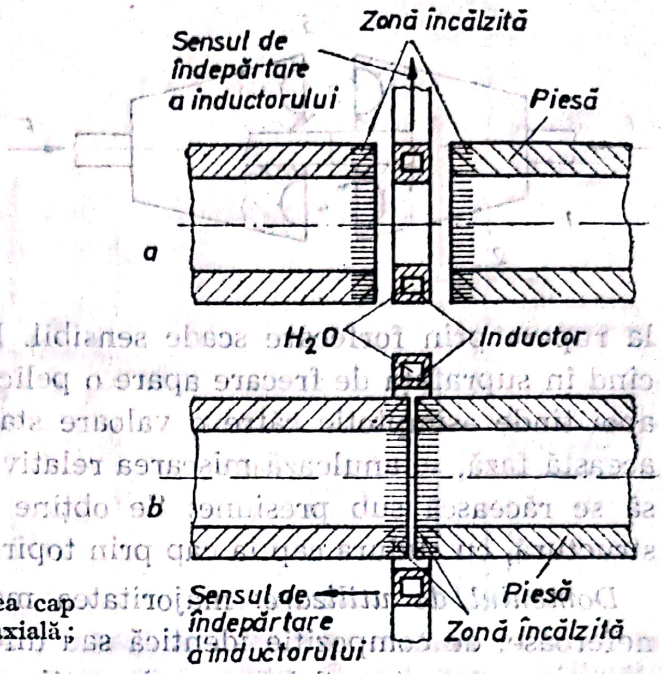


Fig. 7.71. Poziția inductorului la sudarea cap la cap a țevilor: *a* — încălzire axială; *b* — încălzire radială.

7.5.4. Sudarea cu încălzire prin frecare

Constă în mișcarea relativă între două piese, supuse la o puternică compresiune (fig. 7.72).

Procesul de sudare se bazează pe transformarea energiei mecanice în energie calorică, datorită forțelor de frecare care iau naștere în suprafața de contact. Puterea termică depinde de mărimea presiunii, de coeficientul de frecare și de viteza relativă. Datorită faptului că valoarea coeficientului de frecare variază cu temperatura, puterea sursei termice va fi diminuată în timp (fig. 7.73). Astfel, în timpul t_1, după o creștere bruscă a temperaturii, are loc o scădere a puterii q, cauzată de pelicula de grăsimi de pe suprafața de contact. La temperatura de circa 270 ... 290°C acestea ard, iar coeficientul de frecare crește pînă cînd puterea sursei atinge, la timpul t_2, valoarea q_{max}. Aceasta corespunde unei faze primare de sudare locală în stare plastică a straturilor de metal, urmată de ruperea imediată a acestor punți formate. Odată cu creșterea temperaturii numărul punților de legătură crește, însă rezistența acestora

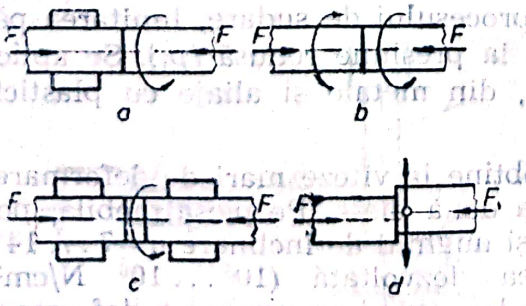


Fig. 7.72. Variante ale sudării prin frecare: *a* — rotirea unei piese; *b* — rotirea ambelor piese; *c* — cu piesă intermediară în rotație; *d* — deplasarea radială a unei piese.

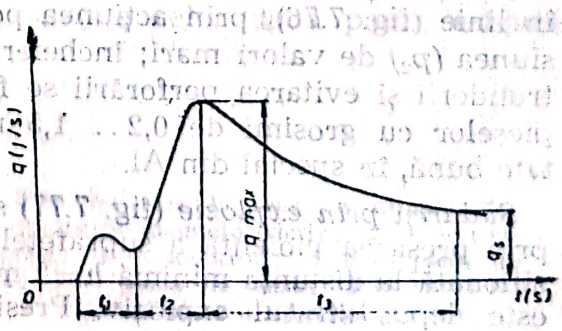


Fig. 7.73. Variația puterii termice la sudarea prin frecare.

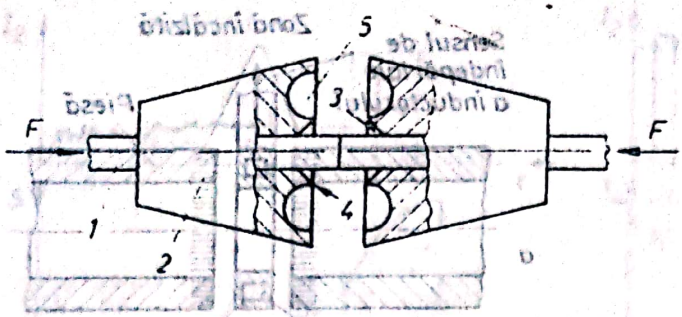


Fig. 7.74. Sudarea la rece, cap la cap: *1* — piese de sudat; *2* — fălci de prindere; *3* — cavitate de îngroșare; *4* — tăiș circular; *5* — canal de bavură.

la rupere prin forfecare scade sensibil. Puterea termică începe să scadă cînd în suprafața de frecare apare o peliculă alunecătoare de metal lichid, apoi tinde asimptotic către o valoare staționară (q_s), într-un timp t_3. În această fază, se anulează mișcarea relativă între cele două piese și se lasă să se răcească sub presiune: Se obține o sudură similară, ca formă și structură, cu sudura cap la cap prin topire.

Domeniul de utilizare: majoritatea metalelor și aliajelor feroase sau neferoase, de compoziție identică sau diferită: piese cu secțiuni circulare sau neregulate (capul hexagonal cu tija șurubului, partea utilă cu corpul sculei aschietoare etc.).

7.5.5. Sudarea la rece

Sudarea prin deformare plastică la rece, se bazează pe capacitatea metalelor de a interacționa în stare atomică și moleculară, atunci cînd sînt supuse unei puternice presiuni.

Sudarea cap la cap (fig. 7.74) se obține cu dispozitive speciale la presiuni foarte mari (la aluminiu 800 . . . 1000 N/mm², la cupru 1000. . .1200 N/mm²), cu realizarea unui coroiaj (grad de deformare mare) ridicat 60 . . . 90%. Materialul din zona de contact curge plastic și este refulat radial. Cu muchia tăietoare circulară *(4)* este decupată bavura, rămînînd o îmbinare de secțiune supradimensionată delimitată de canalul circular *(3)*. Se utilizează îmbinarea barelor, țevilor, benzilor, profilelor și sîrmelor, putînd fi realizate și suduri între metale diferite.

Sudarea prin suprapunere poate fi realizată în puncte (fig. 7.75) sau în linie (fig. 7.76), prin acțiunea poansoanelor *(4)* sau rolelor *(1)* la presiunea (p_2) de valori mari; încheierea procesului de sudare, limitarea pătrunderii și evitarea perforării se face la presiune redusă (p_1). Se aplică pieselor cu grosimi de 0,2 . . . 1,5 mm, din metale și aliaje cu plasticitate bună, în special din Al.

Sudarea prin explozie (fig. 7.77) se obține la viteze mari de deformare, prin presarea violentă a suprafețelor a două piese. Pe piesa mobilă, poziționată la distanța minimă $h=2$ mm și unghiul de înclinare $\alpha=7 \ldots 14°$, este depus stratul exploziv. Presiunea dezvoltată ($10^5 \ldots 10^6$ N/cm²) provoacă izbirea cu viteză mare a plăcilor, avînd ca urmare o deformare plastică rapidă însoțită de deplasări tangențiale ale straturilor de suprafață și apariția forțelor de legătură. Se aplică metalelor și aliajelor cu sudabilitate redusă.

Scanned with OKEN Scanner

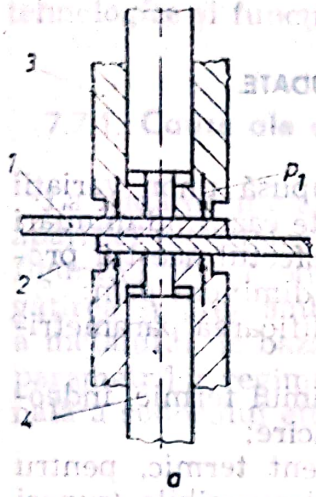


Fig. 7.75. Sudarea la rece, în puncte: *a* — înainte de presare; *b* — după presare; *1, 2* — piese de sudat; *3* — dispozitiv de presare ajutător; *4* — poanson.

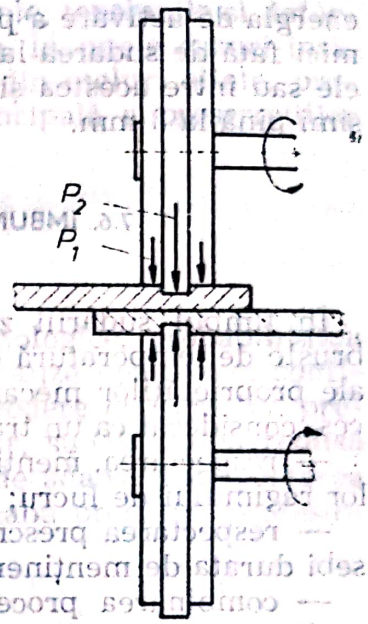


Fig. 7.76. Sudarea la rece, în linie: P_1 — presiune ajutătoare; P_2 — presiune de sudare.

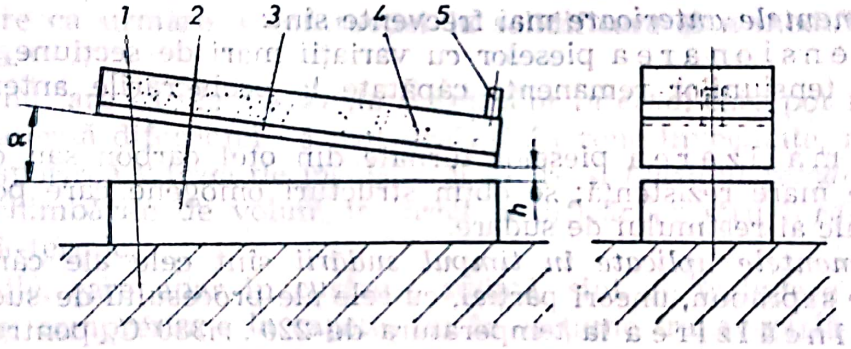


Fig. 7.77. Sudarea la rece prin explozie: *1* — placă de bază; *2* — piesa fixă de sudat; *3* — piesă mobilă de sudat; *4* — strat exploziv; *5* — detonator.

Sudarea prin presiune la rece și vibrare cu ultrasunete (fig. 7.78) se realizează prin presiunea exercitată asupra unei piese de către o sculă *(4)* care are rolul și de *sonotrod*, legat la concentratorul unui traductor magnetostrictiv generator de unde ultrasonore. Efectul vibrațiilor, suprapus peste presiunea creată între suprafețele celor două piese, asigură

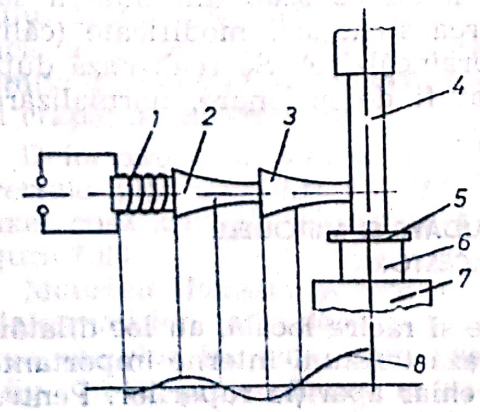


Fig. 7.78. Sudarea la rece cu ultrasunete: *1* — traductor magnetostrictiv; *2, 3* — concentrator; *4* — sonotrod; *5, 6* — piese de sudat; *7* — placă de bază; *8* — curba de amplificare a vibrației.

energia de activare a procesului de sudare, realizabil la presiuni mult mai mici față de sudarea la rece. Se aplică metalelor feroase și neferoase între ele sau între acestea și materialele nemetalice (ex. ceramice) pentru grosimi pînă la 3 mm.

7.6. ÎMBUNĂTĂȚIREA CALITĂȚII ÎMBINĂRILOR SUDATE. TRATAMENTE TERMICE

În timpul sudării zona influențată termic este supusă unor variații bruște de temperatură care determină, în cele mai multe cazuri, diminuări ale proprietăților mecanice, chimice, tehnologice etc. Efectul acestui proces, considerat ca un tratament termic nedorit, poate fi diminuat prin:

— respectarea, menținerea sau, de la caz la caz, modificarea parametrilor regimului de lucru;

— respectarea prescripțiilor tehnologice privind regimul termic, îndeosebi durata de menținere la temperatură și viteza de răcire;

— combinarea procesului de sudare cu un tratament termic, pentru realizarea structurii dorite și evitarea transformărilor ireversibile (ruperi în structură).

Față de succesiunea în timp a ciclurilor termice de sudare, se folosesc următoarele tratamente:

• *tratamentele anterioare* mai frecvente sînt:

— detensionarea pieselor cu variații mari de secțiune, în scopul eliminării tensiunilor remanente căpătate la prelucrările anterioare sudării;

— normalizarea pieselor turnate din oțel carbon sau oțeluri laminate de mare rezistență; se obțin structuri omogene care pot suporta șocul termic al regimului de sudare.

• *tratamentele aplicate în timpul sudării* sînt cele ale căror cicluri termice se suprapun, uneori parțial, cu cele ale procesului de sudare:

— preîncălzirea la temperatura de 220...380°C, pentru sporirea plasticității cu evitarea fisurării în ZIT. Poate fi folosită numai la începutul sudării sau menținută în vederea obținerii unei temperaturi constante a regimului de sudare. Se aplică la sudarea pieselor cu pereți groși și constituenți structurali de mare rigiditate;

— postîncălzirea la temperaturi de 570...680°C, în scopul încetinirii răcirii în domeniul transformării martensitice și eliminării tensiunilor structurale; este însoțită de preîncălzire și se aplică oțelurilor cu călibilitate ridicată.

• *tratamentele termice ulterioare* sudării au ca scop diminuarea sau anularea tensiunilor remanente și refacerea structurii modificate (căliri cu precipitări de carburi, structuri de supraîncălzire). Se realizează după ciclul tratamentelor termice clasice și pot fi detensionare, normalizare, recoacere, călire, revenire, îmbunătățire etc.

7.7. DEFECTELE ÎMBINĂRILOR SUDATE ȘI METODELE DE IDENTIFICARE A ACESTORA

Ca urmare a ciclului termic de încălzire și răcire locală, au loc dilatări și contractări în zona sudării, care generează tensiuni interne importante ce pot determina deformarea pieselor sau chiar apariția ruperilor. Pentru

Scanned with OKEN Scanner

oțeluri cu conținut redus de carbon și îmbinări simple, tensiunile și deformațiile apărute în timpul sudării pot fi neglijabile. În unele cazuri însă, la piesele de formă complicată și mai ales la cele din oțeluri aliate, prevenirea sau înlăturarea acestora este condiția principală a prescripțiilor tehnologice și funcționale ale asamblării.

7.7.1. Cauze ale apariției defectelor de sudare

La sudarea metalelor, față de alte procedee tehnologice, probabilitatea apariției defectelor este mai mare, datorită unor cauze complexe: configurația necorespunzătoare a piesei din punct de vedere constructiv, pregătirea și preasamblarea defectuoasă a elementelor, sudabilitatea redusă a metalului de bază, alegerea greșită a metalului de adaos, nerespectarea parametrilor regimului de sudare, neglijența sau slaba pregătire profesională a sudorului etc.

7.7.2. Tensiuni la sudare

Independent de acțiunea solicitărilor exterioare, în cusătură apar eforturi unitare ca urmare a contracției la solidificare și a modificărilor în fază solidă.

Fenomenul are ca efect apariția *tensiunilor interne*, care pot fi *tensiuni termice* datorită diferenței de temperatură în zone învecinate, accentuate odată cu sporirea vitezei de încălzire și răcire și *tensiuni remanente* cauzate de schimbările de volum în urma modificărilor structurale în zona influențată termic.

Tensiunile, care apar în cusătura sudată, sînt de întindere în lungul cusăturii și compresiune la capete, iar în secțiune transversală tensiunile maxime apar, de exemplu, în cazul sudării a două plăci încastrate, cînd este împiedicată deformația (fig. 7.79).

7.7.3. Deformații, fisurări, ruperi

Dacă valoarea tensiunilor remanente tinde spre limita de curgere a materialului de bază, are loc o deformare plastică a piesei, iar cînd se ajunge la limita rezistenței la rupere apar fisuri și crăpături în îmbinare.

Deformațiile la sudare pot fi transversale *(a)*, longitudinale *(b)*, în jurul axei cusăturii *(c)*, simultane *(d)* — figura 7.80.

Metodele folosite pentru diminuarea deformațiilor la sudare pot fi: așezarea pieselor în sens opus deformării (fig. 7.81), preîncălzirea și sudarea la

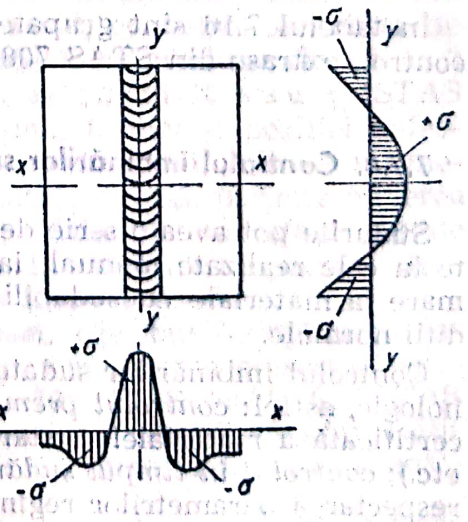
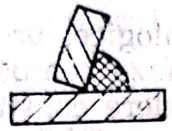


Fig. 7.79. Schema tensiunilor la o îmbinare prin sudură.

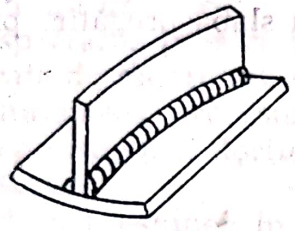
Fig. 7.80. Deformații de sudare.

a

b

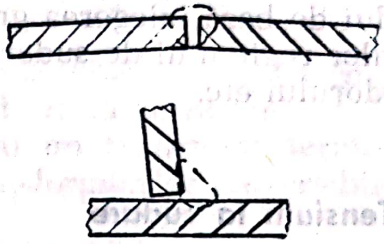


c



d

Fig. 7.81. Evitarea deformațiilor la sudare.



cald, tratamentele termice de detensionare și recoacere de recristalizare, tratamentele mecanice (de exemplu, prin ciocănire se anulează în mare măsură contracțiile și se omogenizează structura), folosirea ultrasunetelor în timpul sudării pentru îmbunătățirea structurii în zona de supraîncălzire din ZIT și a celei dendritice din cordon.

Fisurarea poate să apară în următoarele cazuri.

— *fisurarea la cald* începe odată cu cristalizarea primară a băii de metal topit; această tendință spre rupere inter- și intracristalină este funcție de compoziția chimică a cordonului de sudură; efect negativ au unele elemente de aliere (C, S, P) și fazele cu temperaturi joase de topire (cementita primară, ledeburita etc.);

— *fisurarea la rece* apare la temperaturi sub 200°C, fiind efectul tensiunilor remanente și prezenței hidrogenului în rețea.

În tabelul 7.16 sînt grupate principalele defecte posibile și metode de control, extrase din STAS 7084/1—73.

7.7.4. Controlul îmbinărilor sudate

Sudurile pot avea o serie de defecte, a căror varietate și frecvență crește la cele realizate manual, iar probabilitatea apariției acestora este mai mare la materiale cu sudabilitate scăzută sau la cele nesudabile în condiții normale.

Controlul îmbinărilor sudate se face în diferite faze ale procesului tehnologic, astfel: *controlul premergător*, înaintea începerii sudării (calitatea certificată a materialelor, starea suprafețelor, poziția relativă a acestora etc.); *controlul în timpul sudării* (realizarea corectă a sudurilor provizorii, respectarea parametrilor regimului de sudare, calitatea curățirii de zgură a straturilor anterioare etc.); *controlul final al sudurii* prin metode nedistructive sau încercări efectuate pe epruvete decupate din cusătură.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 7.16

Defecte posibile ale îmbinărilor sudate prin topire (extras din STAS 7084/1-73)

Grupa de defecte	Tipul defectului	Metoda de control
Abateri dimensionale ale cusăturii	Lățimea neuniformă a cordonului de sudură. Supraînălțarea cordonului de sudură. Concavitate (înălțimea cordonului subdimensionată). Mărimea neuniformă a catetelor, la sudurile de colț. Deformarea pieselor asamblate. Decalarea suprafețelor pieselor care se sudează.	Examinare vizuală. Control prin măsurări cu șabloane.
Defecte exterioare ale cusăturii	Cratere nesudate (discontinuitate a cordonului de sudură	Examinare vizuală
	Scurgerea metalului de adaos prin rădăcina cusăturii. Revărsări și stropi de metal de adaos pe suprafața metalului de bază. Arderea metalului. Pori, fisuri. Canal la suprafața piesei, de-a lungul cusăturii.	Examinare vizuală și analiză metalografică.
Defecte în interiorul cusăturii	Incluziuni de gaze. Incluziuni de zgură. Margini netopite. Lipsă penetrație. Fisuri, crăpături.	Examinare vizuală și analiză metalografică în secțiunea respectivă. Control prin ultrasunete, radiații Röntgen sau gamma.
	Defecte de structură (structură aciculară, structură dendritică)	Analiza metalografică.
	Caracteristici mecanice și tehnologice necorespunzătoare.	Încercări mecanice și tehnologice.

Controlul final se realizează prin:

a. Metode de control fără distrugerea piesei: controlul vizual al zonei sudurii cu ochiul liber, lupa sau microscopul portativ; controlul etanșeității cu amoniac și hîrtie de turnesol, cu petrol și vopsea de cretă pe partea opusă, prin probarea hidraulică cu presiune de 1,5...2 ori presiunea nominală; controlul cu radiații X sau γ (STAS E 6606—75) dă o imagine clară asupra naturii, formei și poziției defectelor interioare; defectoscopia magnetică, cu pulbere magnetică în suspensie de petrol sau ulei de viscozitate redusă, permite punerea în evidență a defectelor, cu precădere a fisurilor de suprafață sau de mică profunzime; defectoscopia cu ultrasunete permite descoperirea și localizarea în spațiu a defectelor interioare.

b. Metode de control cu distrugerea piesei. Constau în aplicarea încercărilor standardizate obișnuite și a anumitor metode cu prescripții speciale pentru îmbinări sudate (STAS 7932—79; STAS 5976—80; STAS 5540—77; STAS 7356—80), în vederea cunoașterii calității și proprietății sudurilor. Se practică următoarele încercări: tracțiune, îndoire, rezilienă, duritate, aplatisare pentru țevi etc.

Se aplică pe epruvete prelevate din cusătură (cordonul de sudură-ZIT) sau din așa-zisele *mărci* (sudate în condiții identice ca și cusătura).

c. Analiza metalografică a îmbinării are ca scop identificarea structurilor metalului în cusătură și în zona influențată termic.

Defectele constatate se clasifică după un anumit punctaj, putînd fi *defecte remediabile* (crăpături, sufluri sau suduri nepătrunse), *defecte mari neremediabile* (arderea pieselor, oxizi sau incluziuni peste limitele admisibile etc.) și *defecte mici* și puține la număr care pot fi admise fără remedieri.

7.8. ASAMBLAREA PRIN LIPIRE

7.8.1. Generalități

7.8.1.1. **Fenomenul tehnologic.** Lipirea este un procedeu tehnologic de asamblare eterogenă, bazat pe interacțiunea reciprocă în zona de contact a atomilor din materialul de adaos (metalic sau nemetalic) în stare lichidă și a celor din materialul de bază în stare solidă.

Într-o asamblare prin lipire, cu metal de adaos în stare topită, se disting (fig. 7.82): zona materialului de bază neafectat de lipire *(1)*; zona de interacțiune a materialului de adaos cu materialul de bază — stratul intermetalic *(2)*; zona materialului de adaos solidificat *(3)*.

7.8.1.2. **Factorii determinanți.** Calitatea unei asamblări prin lipire este determinată de următorii factori:

1. Asigurarea contactului intim între metalul de adaos și cel de bază, realizat prin:

a — îndepărtarea oxizilor, grăsimilor și acoperirilor metalice și nemetalice; îndepărtarea peliculei de oxizi se realizează cu ajutorul unei atmosfere reducătoare de CO sau H_2 sau depunerea de fluxuri dezoxidante.

Între viteza de dezoxidare și temperatura de lucru (fig. 7.83) trebuie să existe o anumită dependență, astfel ca dezoxidarea să se încheie cu puțin timp înainte de lipire (cazul optim, curba *2)*. În cazul *(1)*, pînă la lipire, suprafața piesei se oxidează din nou, iar în cazul *(3)* lipirea nu se realizează deoarece pelicula de oxizi nu a fost îndepărtată.

b — realizarea unei bune umectări (umezire) de către metalul de adaos, a celor două suprafețe de asamblat. Prin capacitate de umectare se înțe-

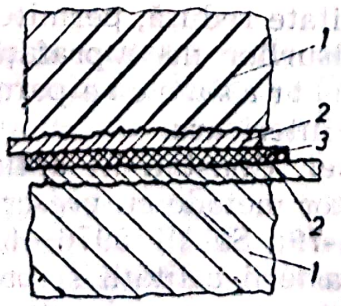


Fig. 7.82. Secțiune într-o asamblare prin lipire.

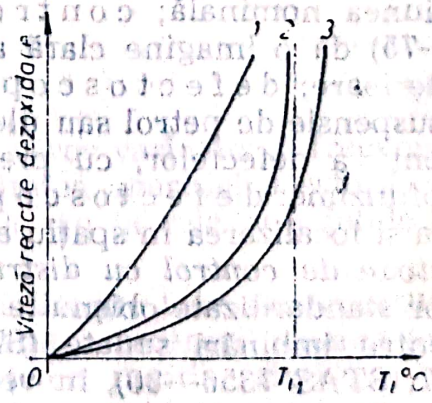


Fig. 7.83. Variația vitezei de reacție de dezoxidare și temperatura de lucru, în cazul a trei fluxuri distincte.

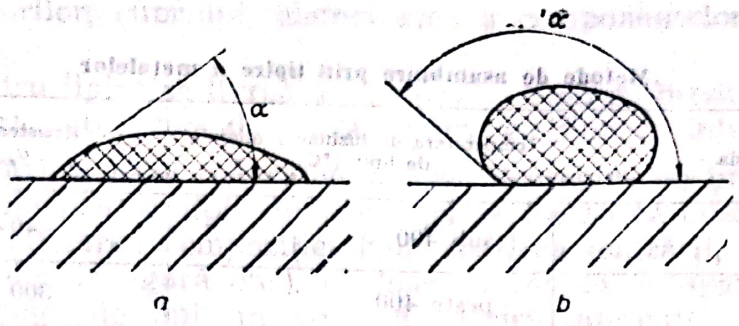


Fig. 7.84. Limite ale gradului de umectare: *a* — bună; *b* — slabă.

lege mărimea suprafeței de contact ce se obține la depunerea unei picături de material de adaos pe suprafața pregătită pentru lipire (fig. 7.84). Cu cît unghiul α este mai mic, cu atît suprafața umectată este mai mare și aderența mai bună; la valori ale acestuia de circa 90° — lipire bună, la 45° — lipire foarte bună.

2. Compușii intermetalici, formați prin difuziunea metalului de adaos cu metalul de bază, trebuie să nu fie fragili și să aibă caracteristici apropiate cu ale metalului de bază.

3. Sporirea intensității difuziunii, prin creșterea temperaturii de lipire (în cazul asamblării metalelor). O bună difuziune se realizează cînd $\alpha = 45°$ și temperatura de lucru este, de exemplu, 700—800°C pentru lipirea fontei și 800—1000°C pentru lipirea oțelului cu alamă.

4. Existența unei bune aderențe a materialului de adaos cu materialul de bază, ca urmare a permanentizării interacțiunii și, de la caz la caz, datorită rolului stratului intermetalic.

7.8.1.3. **Avantajele procedeului sînt următoarele:** îmbinările prin lipire sînt rezistente, curate și cu aspect estetic și, de cele mai multe ori, nu necesită prelucrări ulterioare; este un procedeu simplu și ieftin, care permite demontarea fără deteriorarea elementelor asamblate; realizează o mare productivitate, putînd fi mecanizat sau automatizat; în cazul lipirii metalelor cu aliaj topit, materialul piesei este încălzit sub punctul critic de transformare, astfel că nu apar modificări ale proprietăților în materialul de bază; se mențin dimensiunile și forma inițială a elementelor asamblate, întrucît tensiunea superficială a materialului de adaos este cu mult sub limita de proporționalitate a materialului de bază; pot fi asamblate metale și aliaje de natură diferită, iar în cazul lipirii cu adezivi, materiale nemetalice între ele sau cu cele metalice.

7.8.1.4. **Domeniul de utilizare.** Procedeul are un domeniu larg de utilizare în industria electrotehnică și electronică, în industria construcțiilor de mașini, în industria aeronautică și a rachetelor etc. Astfel:

— se aplică atunci cînd piesele nu se pot suda și cînd lipitura îndeplinește condițiile de rezistență ale asamblării;

— pot fi lipite, de regulă, toate oțelurile carbon și aliate, inclusiv oțelurile de scule și oțelurile inoxidabile, materialele sinterizate (plăcuțele dure etc.) și fontele, precum și toate metalele neferoase și nobile ca și aliajele lor.

După temperatura de fuziune a materialului de adaos și rezistența mecanică a lipiturii, se folosesc frecvent următoarele metode de lipire a materialelor metalice: lipirea moale și lipirea tare (tab. 7.17).

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 7.17

Metode de asamblare prin lipire a metalelor

Metoda	Temperatura de fuziune a aliajului de lipit [°C]	Rezistența mecanică σ_r [N/mm²]
Lipirea moale	sub 400	40—80
Lipirea tare	peste 400	300—500

7.8.2. Lipirea moale

Se aplică tuturor metalelor și aliajelor la îmbinarea pieselor cu solicitări mecanice și regim de temperatură reduse, cum ar fi: instalații sanitare, radiatoare de autovehicule, frigidere, obiecte de uz casnic, componente electronice, conexiuni de conductori în electronică și telecomunicații etc.

7.8.2.1. **Materiale de adaos.** Aliajele cele mai utilizate sînt cele pe bază de Sn-Pb și Sn-Pb-Sb (cu adaos de Sb pentru sporirea rezistenței mecanice), conform STAS 2615/1—69 (tab. 7.18), notate cu simbolul Lp (lipire), urmat de un număr care indică procentul mediu de Sn și de simbolul Sb cînd conținutul acestuia este minimum 1%.

Tabelul 7.18

Aliaje pentru lipirea moale

Marca	Sn [%]	Sb [%]	Pb [%]	Temperatura [°C]		Domeniul de utilizare
				solidus	lichidus	
Lp 20 Sb	20	0,8—1,2	rest	184	270	Oțel, plumb, cupru, alamă.
Lp 30	30	max 0,25	rest	183	256	Tablă de zinc, tablă și sîrmă zincată.
Lp 30 Sb	30	0,5—1,8	rest	186	250	Lipituri în tinichigerie obișnuită.
Lp 37	37	max 0,25	rest	183	190	Manșoane de plumb la cabluri de conductori în telefonie și telegrafie.
Lp 40	40	max 0,25	rest	183	209	Tablă de alamă și tablă cositorită, conductori electrici.
Lp 40 Sb	40	2,3—2,8	rest	183	235	Radiatoare auto, piese de aparate electrice și radio.
Lp 50	50	max 0,25	rest	183	209	Contoare electrice, cutii de conserve, contoare de gaz, sîrmă zincată.
Lp 60	60	max 0,12	rest	183	190	Lipituri fine în electrotehnică, radiofonie; pentru metale ușor fuzibile.
Lp 65	65	max 0,12	rest	183	190	Este aliajul eutectic Sn—Pb folosit la lipiri de circuite imprimate.
Lp 90	90	max 0,12	rest	183	213	Lipituri speciale la aparate sanitare, vase alimentare, cutii de conserve în interior.

Aliajele cu Sn-Pb au temperatura de topire cuprinsă între 256 și 183°C, aceasta fiind descrescătoare odată cu creșterea conținutului de Sn. Cele cu conținut redus de Sn (20—50%) se folosesc la lipiri uzuale, fiind cele mai ieftine.

Aliajele pe bază de Sn-Pb-Sb sînt de tipul Lp 20 Sb, Lp 30 Sb, Lp 40 Sb, au temperaturi de topire cuprinse între 270 și 235°C și se folosesc

la lipirea oțelurilor, cuprului, alamei etc., a componentelor electrice și electronice etc.

Aliajele pentru lipire se livrează în vergele, blocuri, benzi, pulbere sau pastă și, uneori, sub formă de țeavă subțire cu flux în interior (fludor).

7.8.2.2. **Fluxuri și gaze reducătoare.** Spre deosebire de îmbinarea prin sudare, fluxurile pentru lipit nu participă la formarea cusăturii (fluidizarea băii, modificarea compoziției băii, sporirea ionizării, dizolvarea și separarea oxizilor în zgură etc.), ci doar cu rol de decapant și dezoxidant al suprafeței de lipit în vederea sporirii aderenței metalului de adaos.

Fluxurile pentru lipire se livrează sub formă de: *pulbere* — pe bază de clorură de amoniu (țipirig), ca dizolvant; *pastă* — amestec de grăsimi, uleiuri și rășini cu un dizolvant pe bază de NH_4Cl; *baie de săruri topite* — cu rol de dizolvant, sursă de căldură și protecție a suprafeței piesei din afara zonei lipiturii.

Cele mai utilizate fluxuri, pentru lipirea moale, sînt:

— *compușii organici:* stearina la lipire cu Pb; colofoniul (sacîzul) pentru cupru și alame;

— *compușii anorganici:* clorura de amoniu — NH_4Cl și acidul clorhidric — HCl pentru lipirea zincului ș.a.; clorura de zinc — $ZnCl_2$, pentru oțeluri și aliaje de cupru.

Întrucît după lipire fluxurile anorganice nu se evaporă și pot avea o secțiune puternic corozivă, piesele trebuie bine spălate în zona îmbinării.

Gazele reducătoare pot fi utilizate cu următoarele compoziții, pentru: asamblarea prin lipire a pieselor din Cu, Ag, Zn și Pb; 88% N_2 + 1% H_2; 1% CO + 10% CO_2; lipirea oțelului cu conținut redus de C, a Ni și monelului; 70% N_2 + 15% H_2 + 10% CO + 5% CO_2; lipirea oțelului cu conținut mediu sau ridicat de C; 75% N_2 + 15% H_2 + 10% CO_2.

7.8.2.3. **Tehnologii și utilaje.** • *Pregătirea asamblării.* Cu deosebire la lipire, față de sudare, suprafețele de contact trebuie să fie bine curățite, în ordine succesivă: pe cale termică (arderea lacurilor și vopselelor) sau chimică (decapare și degresare prin fierbere în soluții alcaline); curățire mecanică (cu perie de sîrmă, pilă, pînză abrazivă), pînă la obținerea luciului metalic.

Înainte de lipire, piesele se apropie și se fixează în poziția cerută, astfel ca rostul dintre acestea să asigure pătrunderea prin capilaritate a metalului de adaos și realizarea unei pelicule continue cît mai subțiri (grosimea optimă 0,02—0,25 mm).

• *Tipuri de îmbinare.* La alegerea tipului de îmbinare (fig. 7.85), trebuie evitate variantele *cap la cap (a)* și cu *margini teșite (b)*, fiind recomandate îmbinările cu *margini suprapuse (c)* sau *cu margini răsfrînte (d)*, întrucît rezistența mecanică și etanșeitatea lipiturii crește cu mărimea suprafeței de contact. Pentru proiectarea corectă a diverselor ti-

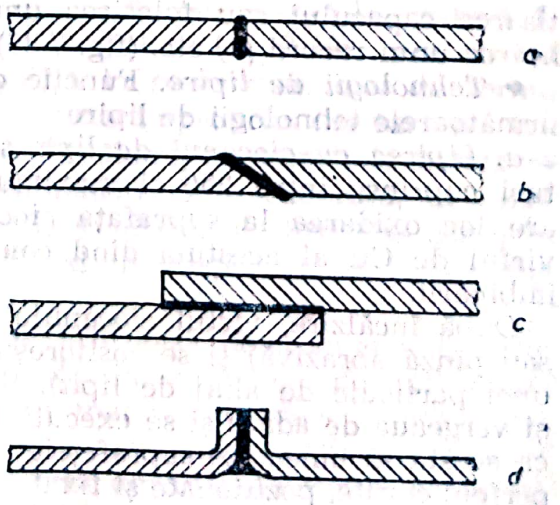


Fig. 7.85. Principalele tipuri de îmbinării prin lipire moale.

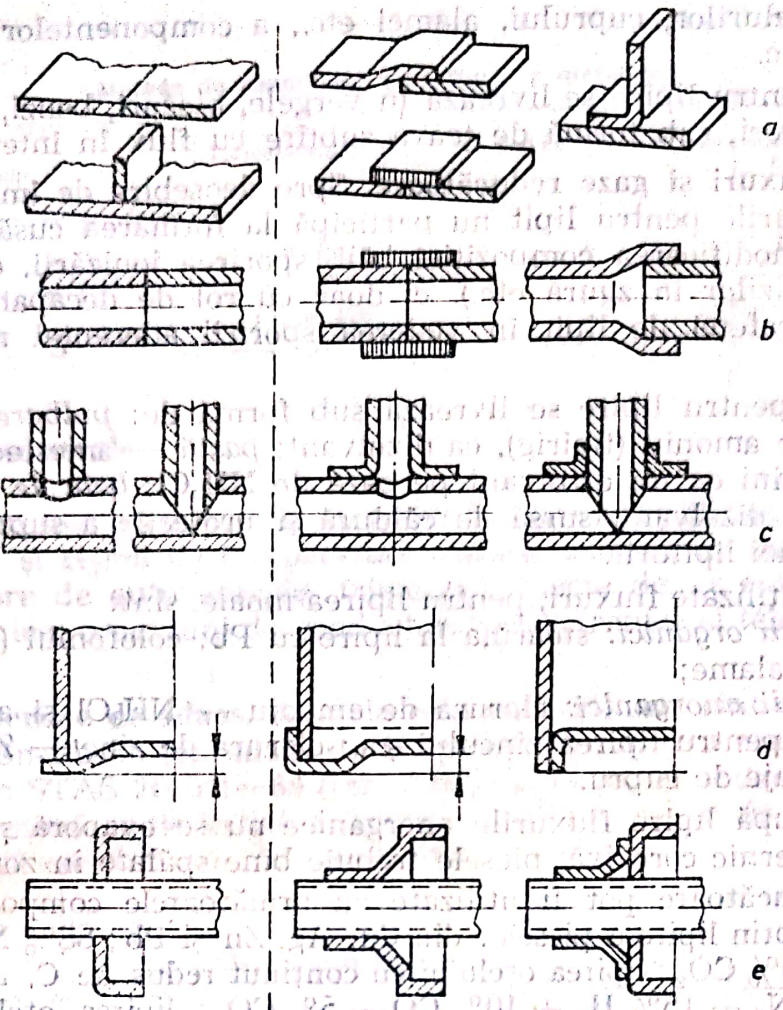


Fig. 7.86. Exemple de proiectare corectă a îmbinărilor prin lipire.

puri de îmbinare, se recomandă folosirea de eclise sau margini îndoite *(a)*, manșoane de legătură sau capătul lărgit al uneia din țevi *(b)*, țevi răsfrînte sau cu flanșă specială *(c)*, margini răsfrînte la recipienți *(d)*, ambutisarea capacului sau folosirea unui guler intermediar de susținere la lipirea unui racord *(e)* etc. (fig. 7.86).

• *Tehnologii de lipire.* Funcție de sursa de încălzire, pot fi utilizate următoarele tehnologii de lipire:

a. Lipirea cu ciocanul de lipit se folosește frecvent pentru temperaturi cuprinse între 250 și maximum 600°C. Peste această temperatură are loc oxidarea la suprafața ciocanului de lipit, iar Sn difuzează în vîrful de Cu al acestuia dînd constituenți fragili insolubili în pelicula îmbinării.

După încălzire, vîrful ciocanului de lipit se curăță de oxizi (cu pila sau pînză abrazivă) și se cositorește (prin frecare în țipirig, în prezența unei particule de aliaj de lipit). Se adaugă în locul îmbinării fluxurile și vergeaua de adaos și se execută lipirea cu un strat cît mai fluid, astfel ca acesta să umecteze suprafețele celor mai mici interstiții dintre piesele perfect curate, poziționate și fixate.

Ciocanele de lipit sînt confecționate din cupru pentru a avea o bună conductivitate termică. În unele cazuri, în scopul diminuării interacțiu-

nii Cu cu aliajele de Pb, se montează un vîrf din aliaj de Cu cu 1% Cr, din alpaca sau Ni.

Prevăzute cu mîner izolator, ciocanele de lipit depind de tipul îmbinărilor și grosimea pieselor de asamblat. Geometria părții active și poziția acesteia față de axa mînerului se aleg funcție de forma și accesibilitatea îmbinării (fig. 7.87).

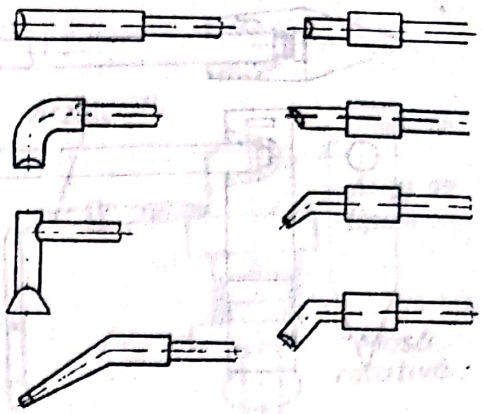


Fig. 7.87 Forme de vîrfuri ale ciocanelor de lipit.

Ciocanele simple de lipit, utilizate cu intermitență, sînt încălzite la forje portabile sau cu flacăra de gaze *(a)*, iar cele cu funcționare continuă au instalații proprii de încălzire cu lampa de benzină *(b)*, flacără de gaz *(c)* sau rezistență electrică *(d)* — figura 7.88.

Ciocanele electrice sînt cel mai des utilizate, deoarece sînt simple și ușor de manevrat, asigură o productivitate ridicată și condiții optime de lucru. Acestea pot fi de două tipuri: *cu rezistență electrică* care, înfășurată în carcasa din material ceramic, formează sursa de încălzire a părții active; uneori între înfășurare și tija din cupru se află ulei ca mediu pentru transferul de căldură; caracteristici: greutate 0,1—1,0 kg; tensiunea de lucru 110 ... 220 V, uneori și de 12 V; puterea 10 ... 800 W; unele sînt prevăzute cu termostat pentru reglarea temperaturii de regim funcție de punctul de fuziune al aliajului de lipit; cele destinate lipirii semiautomate sînt dotate cu dispozitive de avans automat a sîrmei de lipit; *cu arc electric controlat*, care se formează între un electrod din cărbune și peretele interior al vîrfului ciocanului de lipit.

b. Lipirea cu flacără se utilizează, în mod frecvent, la asamblarea țevilor din Pb. Procesul tehnologic constă în: aliajul și fluxul se întind pe suprafețele de îmbinat; se poziționează cele două elemente; se încălzește zona asamblării pînă ce aliajul și fluxul se topesc; se fixează, pentru evitarea deplasării relative a celor două elemente; se lasă să se răcească, după care se curăță adaosul tehnologic și fluxul în exces.

Încălzirea pentru lipire cu flacără se face cu lampa de lipit, al cărei suflai poate realiza amestecul carburant și flacăra reglabilă, putînd fi folosit orice fel de combustibil lichid sau gazos (fig. 7.89)., sau cu un arzător similar celui de sudare. Se aplică la piese mari sau de formă complexă, atunci cînd ciocanul de lipit este impropriu (lipituri pe suprafețe întinse, temperatură ridicată de încălzire, uniformitate în transmiterea căldurii pe toată suprafața îmbinării). Spre exemplu, în cazul fabricației de serie, pentru lipirea circulară, aliajul și fluxul se așază în zona asamblării, folosind un arzător fix și un dispozitiv de rotire (fig. 7.90).

c. Lipirea prin cufundare (imersie) se utilizează la producția de serie și poate fi realizată prin două metode: cufundarea pieselor de lipit asamblate într-o baie de săruri topite, după ce metalul de adaos a fost așezat în rostul lipiturii sau cufundarea completă sau numai parțială a pieselor de lipit asamblate, într-o baie din topitură de aliaj de lipire, acoperită cu un strat de flux. În figura 7.91 este prezentat un ansamblu realizat prin lipire moale într-o baie de săruri topite.

Scanned with OKEN Scanner

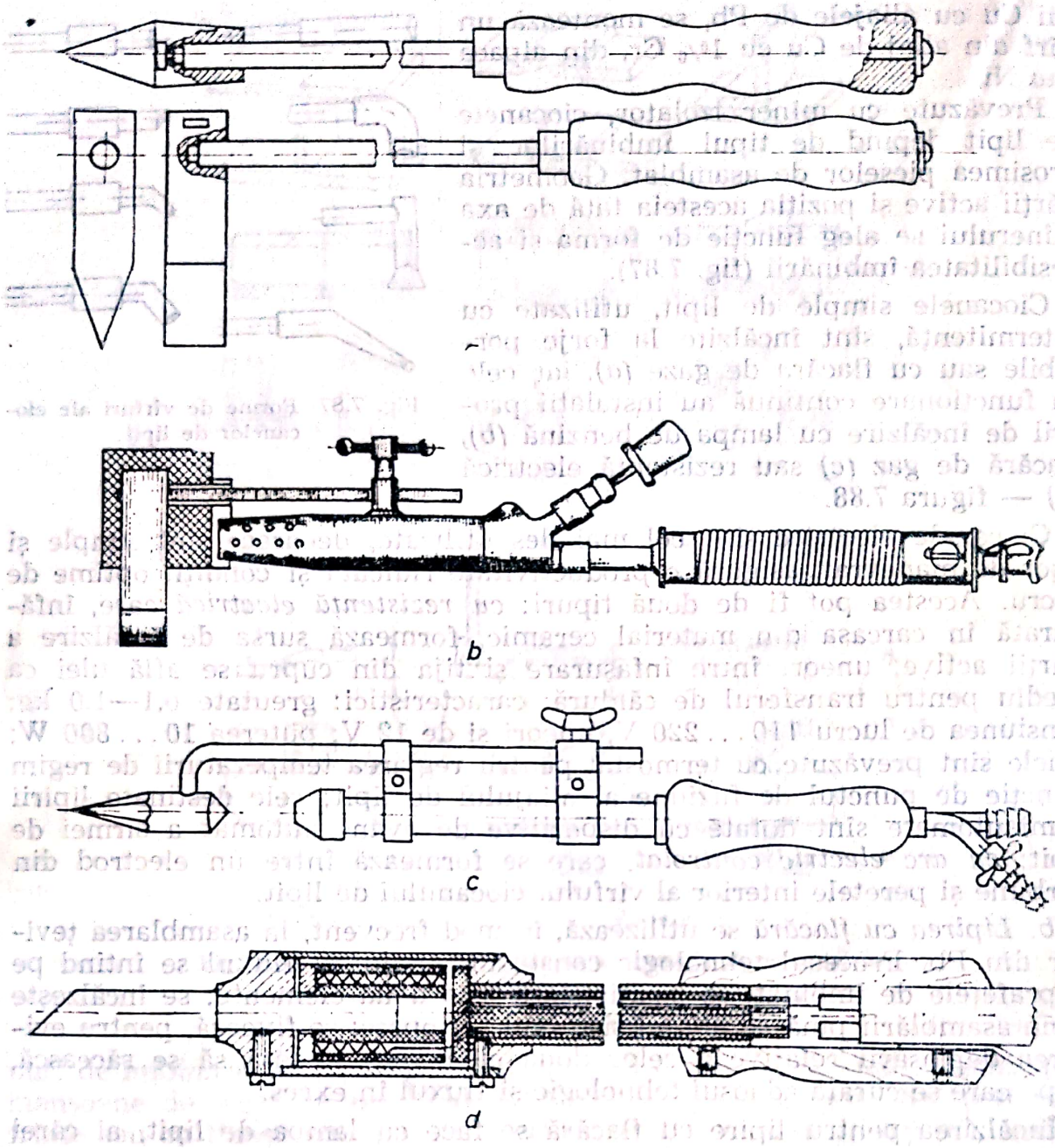


Fig. 7.88. Tipuri de ciocane de lipit.

O aplicație a metodei, în industria electronică, o constituie fixarea și conexarea din punct de vedere electric a diferitelor elemente componente pe o placă de bază cu circuite imprimate (fig. 7.92). Elementele componente sînt așezate cu conductorii de legătură în locașurile plăcii izolatoare, după care partea de jos a plăcii se cufundă în baia topită din aliaj de lipire, realizîndu-se simultan toate punctele de lipitură (uneori cîteva sute). O calitate mai bună poate fi realizată dacă, în timpul scurt al imersiei, placa este vibrată de un sistem din dotarea instalației.

d. Metode de lipire a aluminiului. La temperatura procesului de asamblare prin lipire a aluminiului (200 . . . 300°C), în contact cu aerul se formează foarte ușor o peliculă de oxid de aluminiu, care nu poate fi îndepărtată (are temperatura de fuziune de 2050°C). Așadar, lipirea este practic irealizabilă prin metodele tehnologice anterioare.

Scanned with OKEN Scanner

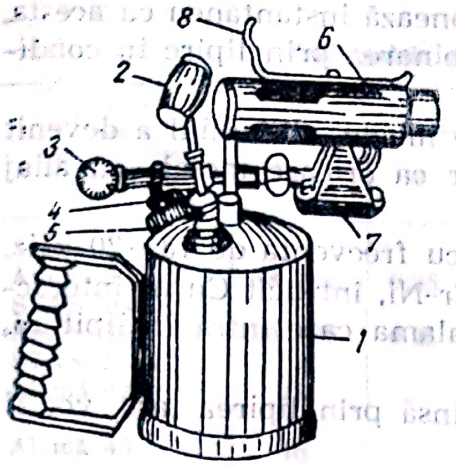


Fig. 7.89. Lampă de lipit cu benzină.

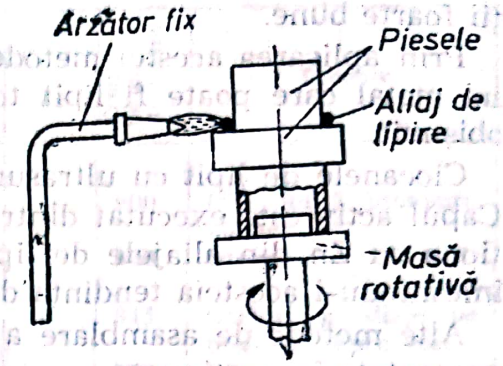


Fig. 7.90. Lipirea cu arzător fix și masă rotativă.

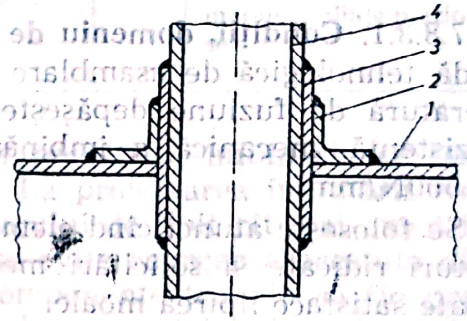


Fig. 7.91. Ansamblu (racord la un rezervor) realizat prin lipirea moale în baia de săruri: *1* — manta; *2* — flanșă; *3* — manșon; *4* — racord.

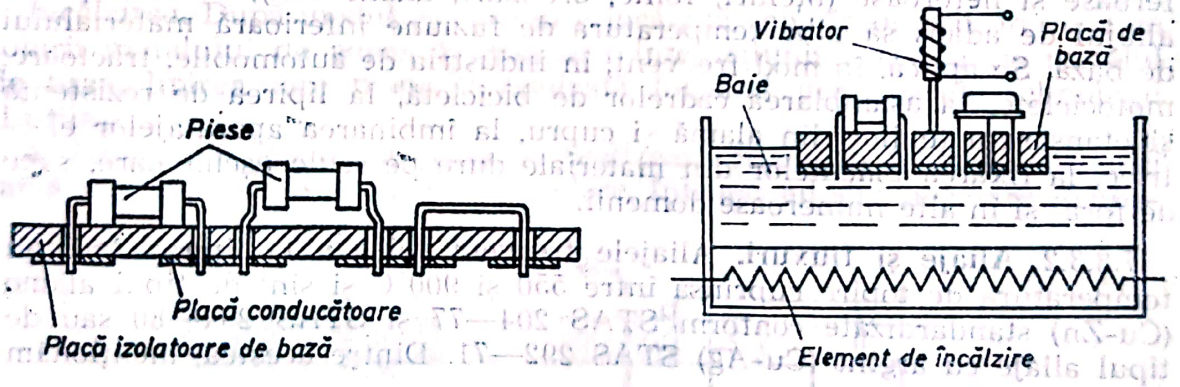


Fig. 7.92. Lipirea în baie topită a elementelor componente pe o placă de bază cu circuite imprimate.

Lipirea moale a aluminiului poate fi realizată, dacă se folosesc fluxuri speciale, pe bază de clorură de zinc și de amoniu și fluorură de metale alcaline. Ca aliaj de lipire se folosește zincul cu adaosuri de staniu, plumb și cadmiu. Aliajele obișnuite Sn-Pb nu pot realiza lipitura.

Cele mai bune rezultate pot fi obținute prin folosirea *ciocanelor de lipit cu ultrasunete*, unde nu mai sînt necesare fluxurile care, prin interacțiunea cu metalul de bază, devin chiar dăunătoare. Prin această metodă modernă, care se extinde tot mai mult în industrie, pelicula de oxizi de Al este îndepărtată prin vibrațiile mecanice de înaltă frecvență, iar aliajul de adaos trecut în stare topită vine în contact cu suprafața

Scanned with OKEN Scanner

metalului de bază proaspăt curățită, interacționează instantaneu cu acesta, formînd un aliaj intermediar și realizînd îmbinarea prin lipire în condiții foarte bune.

Prin aplicarea acestei metode noi de lipire moale, aluminiul a devenit un metal care poate fi lipit tot atît de ușor ca oricare metal sau aliaj obișnuit.

Ciocanele de lipit cu ultrasunete lucrează cu frecvența de 18—20 kHz. Capul activ este executat dintr-un aliaj de Cr-Ni, întrucît Cu ar interacționa cu Zn din aliajele de lipire, formînd alama care intră în lipitură, înlesnindu-i acesteia tendința de corodare.

Alte metode de asamblare a aluminiului, însă prin lipirea tare, vor fi prezentate în continuare.

7.8.3. Lipirea tare (brazura)

7.8.3.1. **Condiții, domeniu de utilizare.** Lipirea tare (brazura) este o metodă tehnologică de asamblare realizată cu aliaje de adaos a căror temperatură de fuziune depășește 400°C, atunci cînd se cere o mai mare rezistență mecanică a îmbinării (lipiturii) ce poate ajunge la $\sigma_r = 500 N/mm^2$.

Se folosește atunci cînd elementele asamblate sînt exploatate la temperaturi ridicate și solicitări mecanice importante, condiție pe care nu o poate satisface lipirea moale.

Prin această metodă se asamblează aproape toate metalele și aliajele feroase și neferoase (oțeluri, fonte, bronzuri, alame etc.), cu condiția ca aliajul de adaos să aibe temperatura de fuziune inferioară materialului de bază. Se aplică, în mod frecvent, în industria de automobile, tractoare, motociclete, la asamblarea cadrelor de bicicletă, la lipirea de rezistență și etanșare a țevilor din alamă și cupru, la îmbinarea aparatajelor electrice, la fixarea plăcuțelor din materiale dure pe scule aschietoare, sape de foraj și în alte numeroase domenii.

7.8.3.2. **Aliaje și fluxuri.** Aliajele frecvent folosite la lipirea tare au temperatura de topire cuprinsă între 550 și 900°C și sînt de tipul alame (Cu-Zn) standardizate conform STAS 204—77 și STAS 294—80 sau de tipul aliaje cu argint (Cu-Ag) STAS 292—71. Dintre acestea, menționăm (tab. 7.19):

— alame (Cu-Zn) pentru lipit, folosite la lipirea materialelor feroase, nichelului, aliajelor de cupru cu nichel. Ca flux se utilizează boraxul;

— aliaje Cu-Ag, utilizate frecvent la lipirea metalelor și aliajelor feroase și neferoase (în afară de Al și Mg). Aliajele cu argint au o bună rezistență mecanică și la coroziune, o temperatură mai joasă de topire, însă sînt mai scumpe. Întrucît au o conductivitate electrică bună, se folosesc în special la lipirea contactelor electrice. Ca flux, se utilizează boraxul;

— aliaje Al-Si, la lipirea aluminiului și aliajelor sale.

Pentru lipirea tare, în afară de borax, ca fluxuri mai pot fi utilizate acidul boric, fluorurile, clorurile etc., sub formă de pulbere, pastă sau lichide.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 7.19

Principalele aliaje folosite pentru lipirea tare

Marca sau denumirea aliajelor	%					Temperatura de topire [°C]	Domeniu
	Cu	Si	Sn	Zn	Ag		
Am Si Lp STAS 204-77	58—62	0,25	—	rest	—	900	Oţel, fontă, bronzuri, alame.
Am Si Lp STAS 204-77	59—61	0,25	0,8—1,2	rest	—	900	Idem.
Alamă 42	42	—	—	rest	—	845	Oţeluri şi aliaje pe bază de cupru etc.
Alamă 48	48	—	—	rest	—	870	Idem.
Aliaj cu Ag	36	—	—	rest	12	830	Cupru şi aliaje de cupru, oţeluri, fonte.
Aliaj cu Ag	25	—	—	rest	50	720	Cupru, bronz, lipituri fine în electrotehnică.
Aliaj cu Ag	26	—	—	rest	70	735	Conductori electrici, metale şi aliaje preţioase.

7.8.3.3. **Tehnologii şi utilaje.** *Curăţirea şi pregătirea* îmbinării, se face după acelaşi principiu ca la lipirea moale. La proiectarea îmbinării trebuie să se prevadă posibilitatea aşezării aliajului de lipit cît mai exact în locul lipiturii (fig. 7.93, *a*), astfel încît să se evite scurgerea acestuia din zonă (fig. 7.93, *b*). De asemenea, piesele componente trebuie să fie preasamblate (fig. 7.94) înainte de lipire, în vederea evitării mişcărilor relative, cum şi pentru sporirea rezistenţei îmbinării.

Încălzirea. După modul în care este încălzită zona îmbinării, în vederea topirii metalului de adaos şi realizării interacţiunii acestuia cu metalul de bază, lipirea tare poate fi realizată folosind următoarele tehnologii şi utilaje:

a. Lipirea cu flacără de gaze se realizează frecvent, folosind suflaiuri (arzătoare) asemănătoare celor de sudare. Întrucît nu sînt necesare tempe-

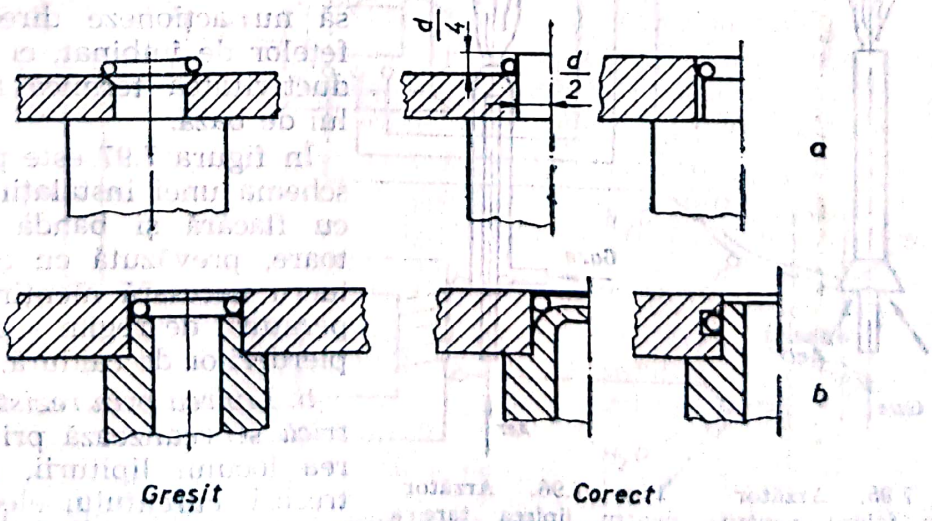


Fig. 7.93. Exemple de poziţionare a pieselor de asamblat şi a aliajului de adaos la lipirea tare.

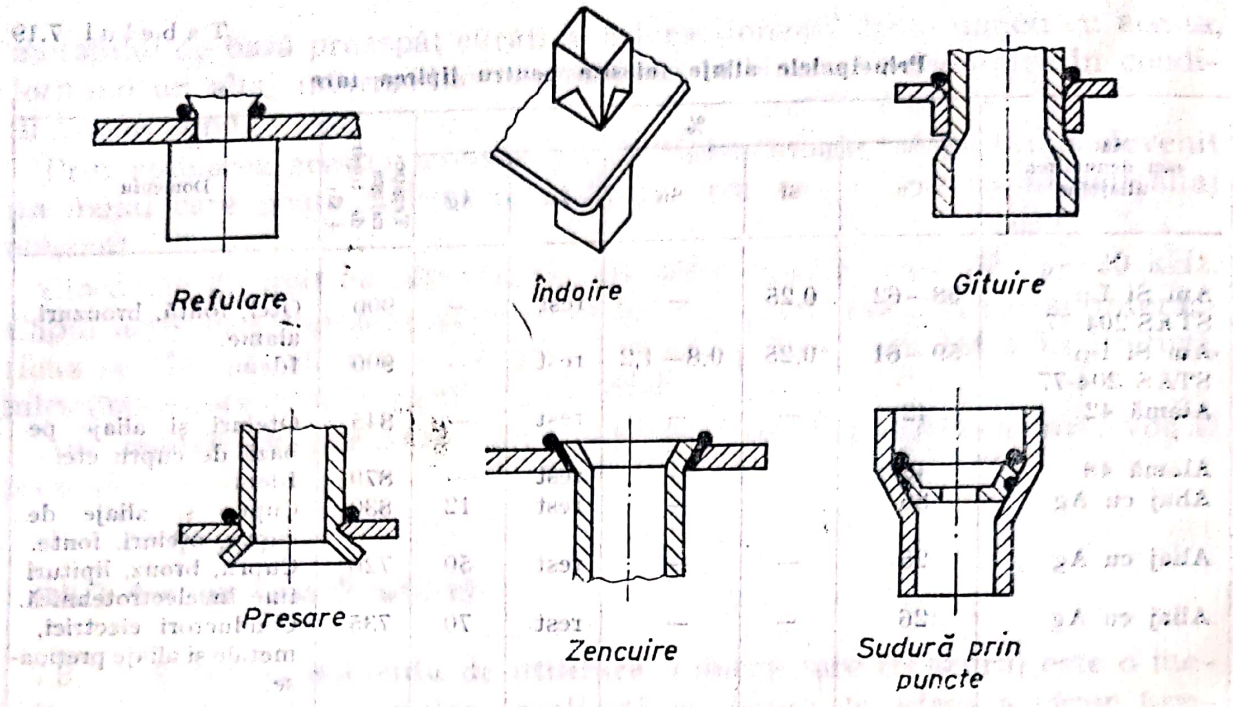


Fig. 7.94. Exemple de fixare a părților componente ale îmbinării pentru lipirea tare.

raturi ridicate, în locul oxigenului poate fi utilizat aerul comprimat și în locul acetilenei și alte gaze combustibile. Pentru lipirea unor piese mici, se utilizează arzătoare Bunsen (fig. 7.95), care ard în aer cu gaze sau acetilenă. Pentru piese mari, se folosesc suflaiurile pentru sudare cu amestec carburant ($O_2/C_2H_2 < 1$) sau suflaiuri de tip special, la care conducta de aer este înfășurată de conducta de gaze (fig. 7.96).

Fluxul, ca și aliajul de lipire, sub formă de pulbere, folii sau sîrmă, debitate la lungimea necesară și curbate după configurația rostului lipiturii, se așază între fețele de lipit sau în imediata apropiere a locului îmbinării.

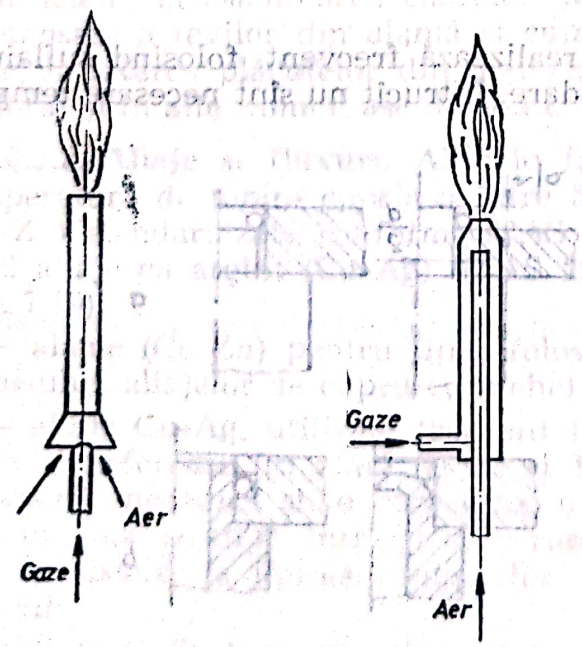


Fig. 7.95. Arzător Bunsen folosit pentru lipirea tare a pieselor mici.

Fig. 7.96. Arzător pentru lipirea tare a pieselor mari.

Încălzirea și topirea aliajelor se face astfel ca sursa de căldură să nu acționeze direct asupra fețelor de îmbinat, ci prin conductivitatea termică a metalului de bază.

În figura 7.97 este prezentată schema unei instalații de lipire cu flacără și bandă transportoare, prevăzută cu cameră de lucru necesară menținerii temperaturii de regim și micșorării pierderilor de căldură.

b. Lipirea prin rezistență electrică se realizează prin încălzirea locului lipiturii, pe baza trecerii curentului electric prin piesele de lipit, similar cu încălzirea la sudarea electrică prin

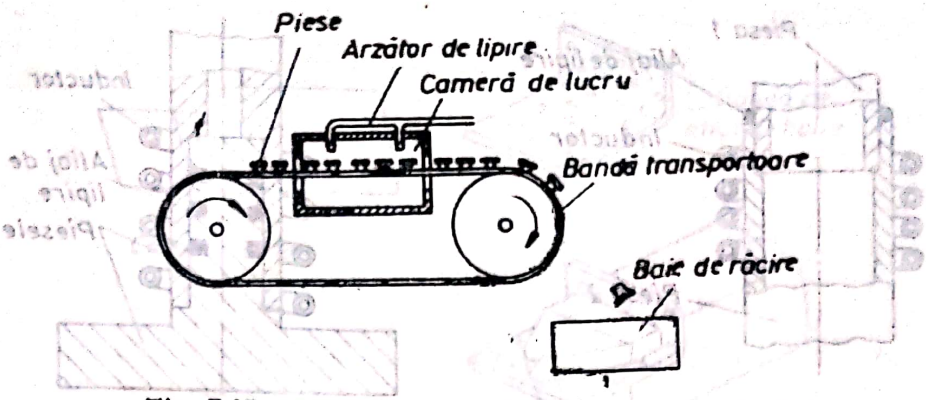


Fig. 7.97. Instalație de lipire în serie cu flacără și bandă transportoare.

presiune. Piesele curățite și acoperite cu o peliculă de flux, între care a fost interpusă o folie de aliaj de lipire, sînt presate în momentul realizării temperaturii de regim. Exemplu: lipirea benzilor de fierăstrău.

c. *Lipirea prin curenți de înaltă frecvență* (C.I.F.) realizează îmbinări de calitate superioară și productivitate deosebit de ridicată. Se aplică, cu precădere, la piese din oțeluri fero-magnetice, însă pot fi lipite și piese din cupru sau alte metale și aliaje. În figura 7.98 este reprezentată schema instalației pentru lipirea prin curenți de înaltă frecvență.

Folosind curenți cu gama de frecvență între 2000 și 500 000 Hz, lipirea prin inducție se realizează în timp foarte scurt (cîteva zecimi de secundă pînă la cîteva secunde). Din acest motiv este necesară o pregătire deosebit de corectă a pieselor, folosind cît se poate de puțin flux și așezînd aliajul de lipire cît mai aproape de rostul lipiturii. Construit în

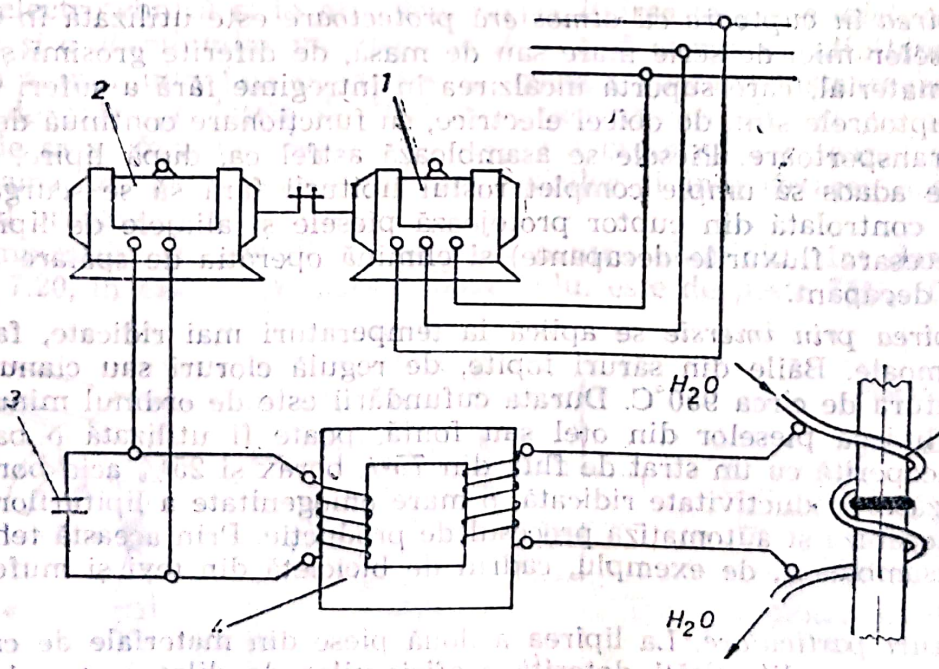


Fig. 7.98. Schema instalației pentru lipirea prin curenți de înaltă frecvență: *1* — motor asincron trifazat; *2* — generator de înaltă frecvență; *3* — condensator; *4* — transformator; *5* — inductor.

Scanned with OKEN Scanner

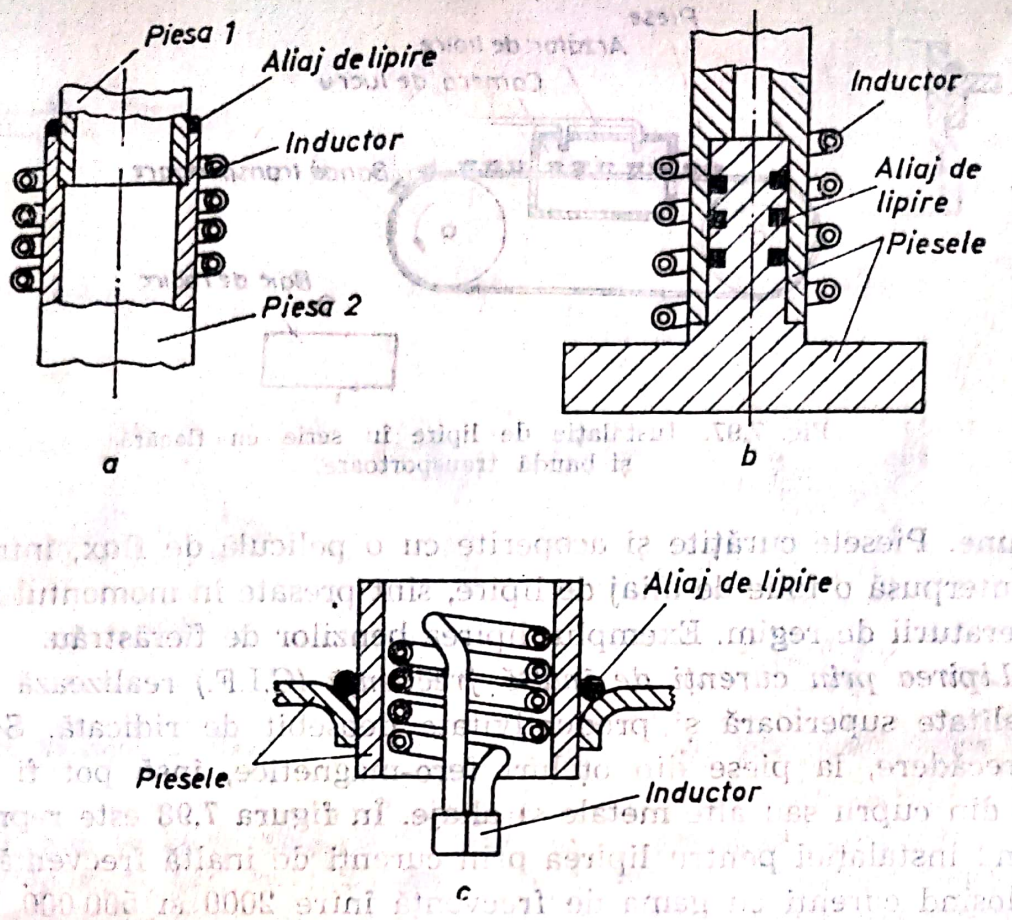


Fig. 7.99. Exemple de lipire tare prin curenți de înaltă frecvență: *a* și *b* — cu inductor exterior; *c* — cu inductor așezat în interiorul piesei.

mod special pentru o anumită serie de piese, inductorul este așezat în exteriorul sau interiorul piesei (fig. 7.99).

d. Lipirea în cuptoare cu atmosferă protectoare este utilizată în domeniul pieselor mici de serie mare sau de masă, de diferite grosimi și calități de material, care suportă încălzirea în întregime fără a suferi deformări. Cuptoarele sînt, de obicei electrice, cu funcționare continuă de tipul bandă transportoare. Piesele se asamblează astfel ca, după lipire, materialul de adaos să umple complet rostul lipiturii fără să se scurgă. Atmosfera controlată din cuptor protejează piesele și aliajele de lipit (nefiind necesare fluxurile decapante) și elimină operația de spălare a pieselor de decapant.

e. Lipirea prin imersie se aplică la temperaturi mai ridicate, față de lipirea moale. Băile din săruri topite, de regulă cloruri sau cianuri, au temperatura de circa 950°C. Durata cufundării este de ordinul minutelor. Pentru lipirea pieselor din oțel sau fontă, poate fi utilizată o baie de alamă acoperită cu un strat de flux din 75% borax și 25% acid boric. Se realizează o productivitate ridicată, o mare omogenitate a lipiturilor și se poate mecaniza și automatiza procesul de producție. Prin această tehnologie se asamblează, de exemplu, cadrul de bicicletă din țevi și mufele de legătură.

f. Cazuri particulare. La lipirea a două piese din materiale de calități deosebite, apar dificultăți datorită coeficienților de dilatare termică diferiți, cum ar fi *cazul lipirii plăcuțelor din aliaje dure sinterizate* pe suportul din oțel carbon al sculelor aşchietoare. Deoarece carbura de wol-

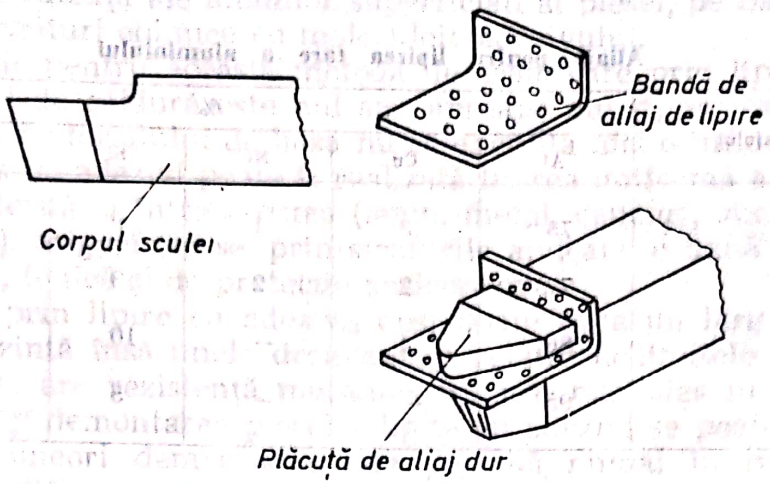


Fig. 7.100. Pregătirea lipirii unei plăcuțe de aliaj dur pe corpul sculei aşchietoare.

fram are coeficientul de dilatare pe jumătate cît al oțelului, aliajul de lipire este deosebit de solicitat la răcire, la care se mai adaugă eforturi unitare importante și în exploatare.

În acest caz, se alege un aliaj de lipit fără fragilitate la roșu și cu temperatură de topire relativ scăzută, ca de exemplu aliajele cu argint, astfel ca tensiunile termice la contracție să fie preluate de deformările peliculei lipiturii.

După pregătirea fețelor de asamblare, între plăcuță și locașul din corpul sculei aşchietoare, se așază folia de lipit și fluxul sub formă de pastă sau granule (fig. 7.100). Încălzirea zonei îmbinării poate fi realizată în variantele: cu flacără de gaze (*a*), prin rezistență electrică (*b*), prin curenți de înaltă frecvență (*c*) etc. (fig. 7.101). Cînd se realizează temperatura de regim (circa 900°C), plăcuța este presată în locaș.

În electrotehnică și în alte domenii, la *lipirea tare a aliajelor din aluminiu și a aluminiului pur*, trebuie să se țină seama de afinitatea deosebită a aluminiului față de oxigen și apariția aproape instantanee a peliculei de oxizi pe fețele de lipit, fapt pentru care lipirea, în acest caz, trebuie să se facă cu respectarea strictă a prescripțiilor tehnologice, mai cu seamă privind evitarea formării oxizilor și îndepărtarea acestora în timpul procesului metalurgic.

Compozițiile cîtorva aliaje de lipit pentru aluminiu sînt date în tabelul 7.20, în care participarea aluminiului este de peste 75%. Tempera-

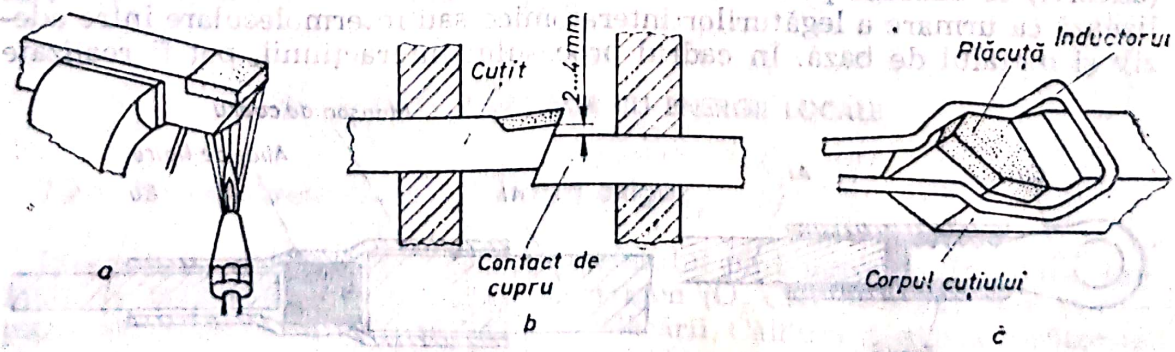


Fig. 7.101. Lipirea tare a plăcuțelor de aliaj dur prin încălzire: *a* — cu flacără; *b* — prin rezistență; *c* — prin inducție.

Tabelul 7.20

Aliaje pentru lipirea tare a aluminiului

Tipul aliajului	%					
	Al	Cu	Ni	Si	Sn	Cd
1	75	3	1	9	9	3
2	77	2	2	3	4	12
3	86	4	—	10	—	—
4	95	—	—	5	—	—

tura de fuziune a acestor aliaje (între 540 și 600°C) este cu puțin sub cea a aluminiului pur. Fluxurile speciale folosite conțin clorură de litiu și fluoruri, cum și alte săruri, avînd rolul de decapant puternic al oxidului de aluminiu.

Mai frecvent se aplică încălzirea cu flacără de gaze, prin deplasarea continuă a flăcării pe piesele de lipit și nu pe vergeaua de aliaj de lipire, în vederea încălzirii uniforme a întregii zone a îmbinării și pentru evitarea oxidării metalului de adaos. Rostul lipiturii trebuie bine umplut astfel ca, după cristalizare, să se evite retasura de contracție.

După efectuarea lipirii, fluxul trebuie îndepărtat în totalitate de pe suprafața piesei, prin spălare cu apă fierbinte și peria de sîrmă; pentru piesele de formă complexă, pentru garantarea îndepărtării complete a fluxului coroziv, după spălare acestea sînt introduse într-o soluție de 10% acid azotic timp de circa 10 minute, urmată de o spălare intensă cu apă fierbinte. În final, zona lipiturii se acoperă cu un strat de ulei de parafină.

În figura 7.102 este reprezentată lipirea corectă a unui papuc din cupru cu un cablu de aluminiu, iar în figura 7.103 lipirea corectă a unui conductor din aluminiu cu altul din cupru, pentru care s-a folosit un aliaj Ag-Cu-Pb și manșon din cupru.

Încălzirea în cuptoare sau lipirea prin cufundare se aplică mai rar pentru lipirea tare a aluminiului.

7.8.4. Lipirea cu adezivi

Asamblarea prin lipire a metalelor cu peliculă din materiale nemetalice (adezivi) se bazează pe fenomenul de adsorbție, la care îmbinarea se realizează ca urmare a legăturilor interatomice sau intermoleculare între adeziv și metalul de bază. În cadrul procesului interacțiunii, pot fi realizate

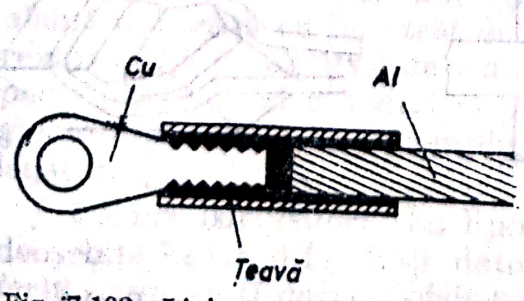


Fig. 7.102. Lipirea unui papuc din cupru cu un cablu din aluminiu.

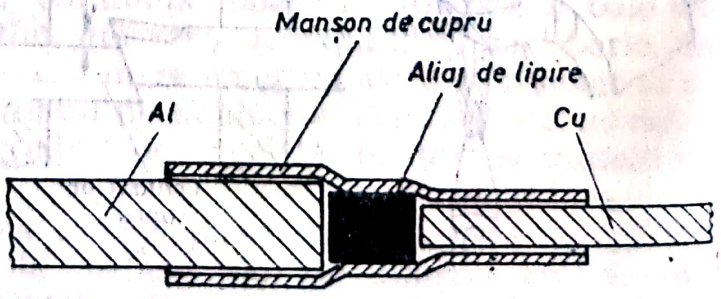


Fig. 7.103. Lipirea corectă a unui conductor din cupru cu un conductor din aluminiu.

Scanned with OKEN Scanner

și legături de valență ale atomilor superficiali ai piesei, pe baza corespondenței unei legături chimice cu moleculele adezivului.

Caracteristic pentru această metodă de asamblare prin lipire este faptul că aportul de căldură este nul sau aproape nul și, ca urmare, asupra proprietăților materialului de bază nu se exercită nici o influență.

Prin lipirea cu adezivi poate fi realizată lipirea uniformă a materialelor de natură diferită și între acestea (lemn, metal, cauciuc, sticlă, materiale ceramice etc.), asigurîndu-se, prin straturile aplicate, o bună izolare electrică, termică, fonică și de protecție anticorosivă.

Îmbinarea prin lipire cu adezivi, deși poate avea un larg domeniu de utilizare, prezintă însă unele dezavantaje relativ la limitele parametrilor de exploatare: are rezistență mecanică redusă, mai ales în cazul solicitărilor la fluaj; demontarea pieselor lipite cu adezivi se poate face numai cu solvenți; uneori demontarea este posibilă numai în regim termic, care poate modifica structura, calitatea, dimensiunile și aspectul estetic al pieselor separate.

Materialele adezive sînt asimilate în mod progresiv și fabricate de industria noastră chimică, fiind elaborate pe bază de poliuretan, epoxizi, epoxi-fenoli, epoxi-poliamide, nitrofenoli, nitrofenoli-silicon, compuși poliaromatici, sticlă solubilă, adezivi ceramici. Domeniul de utilizare a acestora este funcție de solicitările în exploatare ale materialului de bază, unele putînd suporta un regim termic cuprins între —250°C și +1000°C.

În vederea realizării îmbinării prin lipire cu adezivi, este necesară respectarea succesiunii fazelor procesului tehnologic:

a — etapa de pregătire: realizarea unui anumit grad de rugozitate a suprafețelor de lipit, curățirea cu solvenți și uscarea acestora;

b — efectuarea lipirii: aplicarea adezivului (granule, lichid, pastă sau bandă), punerea în contact a pieselor de îmbinat, întărirea la rece timp de minimum 24 ore sau pe o durată mai mică prin încălzire la 100 ... 200°C, cu menținerea forțelor de apropiere pînă la întărire, pentru evitarea deplasărilor;

c — etapa de încheiere a procesului tehnologic: curățirea de adezivi, verificarea dimensiunilor și aspectului estetic al ansamblului.

Metoda lipirii cu adezivi se utilizează la asamblarea construcțiilor metalice (poduri din grinzi cu zăbrele, cu adezivi pe bază de silicon) ca și asamblarea modelelor de formare din turnătorii, la montaj (fixarea rulmenților în alezaj, aplicarea plăcuțelor de fricțiune și a ferodourilor pentru frîne, blocări de prezoane și piulițe, împachetări de tole de transformator), la etanșări (metal pe metal la temperatură și presiune ridicate, radiatoare și rezervoare auto), la reparații (umplerea fisurilor pentru evitarea ruperii, atașarea părților rupte).

7.9. TĂIEREA METALELOR CU ENERGII LOCALE

7.9.1. Tăierea (debitarea) cu flacără oxigaz

Procedeul constă în preîncălzirea metalului pînă aproape de topire, urmată de ardere în zonă în exces de oxigen ($O_2/C_2H_2 = 1{,}2 \ldots 1{,}5$) și expulzarea metalului ars (zgurii) de jetul flăcării. Căldura degajată încălzește straturile următoare de metal, asigurînd astfel continuitatea tăierii (fig. 7.104).

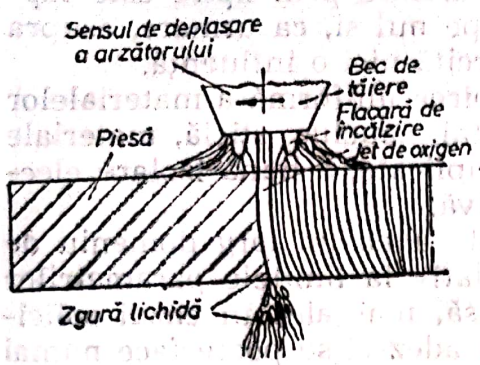


Fig. 7.104. Principiul procedeului de tăiere cu flacără oxiacetilenică.

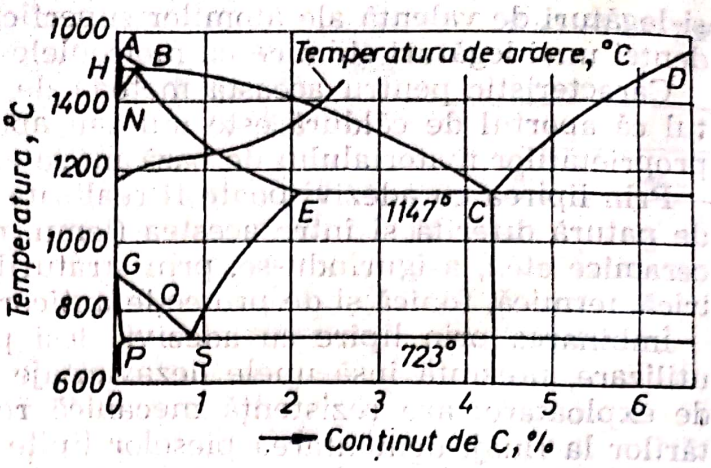


Fig. 7.105. Variația temperaturii de ardere în oxigen a aliajelor fier—carbon, funcție de % de carbon.

Principalele condiții, pe care trebuie să le îndeplinească un metal sau aliaj în vederea tăierii cu flacără, sînt următoarele: conductivitatea termică să fie cît mai mică; temperatura de topire a oxizilor să fie inferioară celei de ardere; căldura dezvoltată, în urma arderii amestecului combustibil și metalului topit, să mențină continuitatea procesului; temperatura de ardere (în exces de oxigen) să fie inferioară temperaturii de topire.

Aceste condiții sînt îndeplinite integral de oțelurile cu un conținut de carbon mai mic de 0,7% (fig. 7.105). Pentru cele cu carbon mai ridicat, tăierea este posibilă după o preîncălzire la 650 . . . 750°C sau cu aplicarea unor metode speciale de tăiere cu flacără. Oțelurile slab aliate se comportă satisfăcător. Cele bogat aliate, fontele și aliajele neferoase pot fi tăiate dacă se folosesc fluxuri speciale, capabile să dizolve oxizii greu fuzibili și să sporească temperatura în vederea asigurării continuității tăierii.

Deși flacăra oxigaz din faza de preîncălzire este aproape identică cu cea de la sudarea cu gaze, însă puțin oxidantă, din cauza combustiei incomplete, excesul de gaz (C_2H_2) carburează și durifică stratul superficial al tăieturii pe o adîncime de cîțiva milimetri, fapt pentru care prelucrarea ulterioară prin așchiere este anevoioasă.

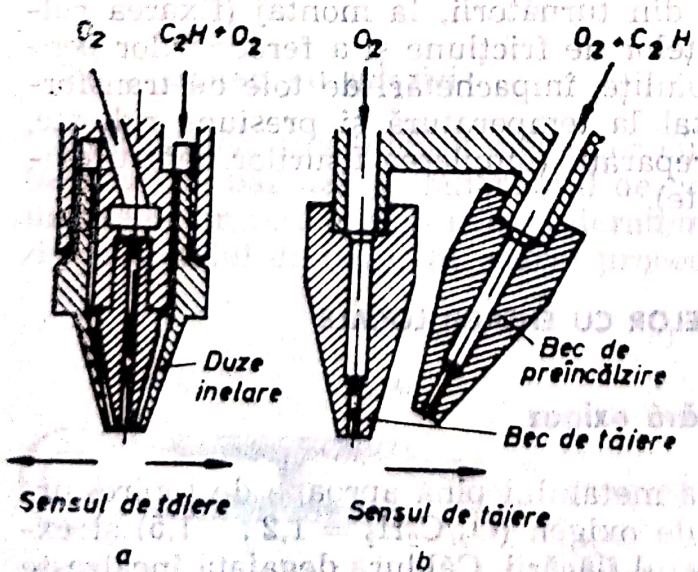


Fig. 7.106. Arzătoare de tăiere: *a* — cu becuri concentrice; *b* — cu becuri succesive.

Arzătoarele (suflaiurile) pentru tăiere sînt de construcție distinctă față de cele de sudare (fig. 7.106). În zona centrală a flăcării de preîncălzire pătrunde jetul de oxigen la o presiune ridicată (2 . . . 14 daN/cm²), funcție de grosimea materialului prelucrat. În figura 7.107 este reprezentat un arzător complet pentru tăiere, avînd cîte un robinet de reglaj pentru oxigen-acetilenă și exces de oxigen. Pentru a menține constantă distanța de 3 . . . 6 mm între bec și suprafața materialului de pre-

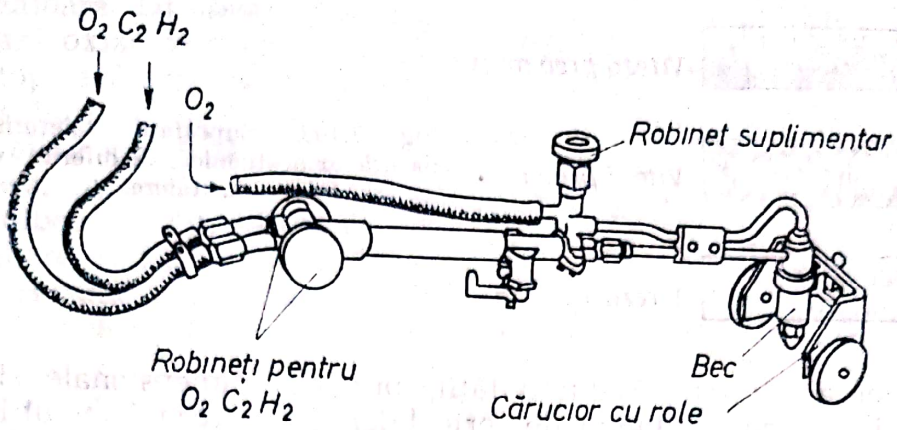


Fig. 7.107. Ansamblul unui arzător complet de tăiere cu flacără oxiacetilenică.

lucrat, în cazul tăierii pe lungimi mari, arzătorul este prevăzut cu un cărucior cu role (fig. 7.108) și un șurub de poziționare a axului flăcării.

Trusele pentru tăiere (și sudare) oxiacetilenică sînt standardizate conform STAS 4137—80.

Privind tehnica de lucru, se recomandă ca tăierea să înceapă la marginea semifabricatului (tablei), printr-o preîncălzire corespunzătoare, după care se acționează cu jetul suplimentar de oxigen, deplasînd arzătorul cu viteză constantă pe conturul stabilit. Dacă tăierea trebuie să înceapă în interiorul perimetrului tablei, mai înainte se practică prin burghiere un alezaj de minimum 5 mm, după care cu arzătorul se realizează succesiv preîncălzirea, excesul de oxigen, deplasarea pe contur.

Parametrul de bază al regimului de lucru este *viteza de tăiere*, dependentă de grosimea materialului prelucrat, consumul de gaze al arzătorului și de presiunea oxigenului. Aceasta trebuie menținută constantă în mod riguros, pentru a realiza o tăietură îngustă și de contur regulat. La deplasarea pe contur a arzătorului cu viteză excesivă, tăierea se întrerupe, întrucît dispare faza de preîncălzire pînă aproape de topirea materialului. La viteză prea mică, materialul se supraîncălzește în profunzime (structură fragilă) și arde în stratul superficial rezultînd o tăietură prea lată și cu margini neuniforme (deci risipă de materiale și, respectiv, prelucrări suplimentare), figura 7.109. Se recomandă: 30 m/h pentru grosimi de 3...4 mm; 3...5 m/h pentru table groase de 400...500 mm.

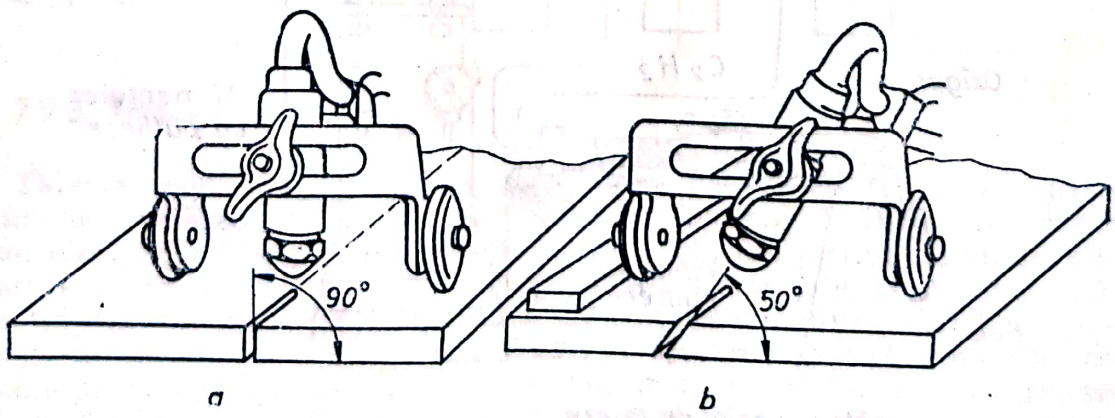


Fig. 7.108. Căruciorul arzătorului de tăiere, în pozițiile: *a* — tăiere dreaptă (perpendiculară); *b* — tăiere înclinată.

Scanned with OKEN Scanner

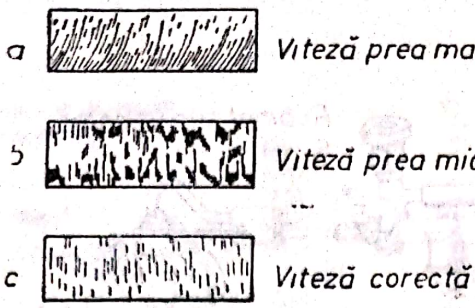


Fig. 7.109. Suprafața tăieturii cu flacără oxiacetilenică, la diferite viteze de tăiere.

În vederea sporirii productivității, preciziei dimensionale și calității suprafeței, pentru producția de serie tăierea se execută cu utilaje automatizate, cu ajutorul șabloanelor mecanice, optice sau magnetice. În cazul producției de masă, productivitatea poate fi mărită prin folosirea simultană a mai multor arzătoare de tăiere, fixate pe același dispozitiv de antrenare și copiere.

7.9.2. Metode speciale de tăiere cu flacără

a. Tăierea cu flacără oxiacetilenică și pulberi metalice se folosește pentru fonte și oțeluri bogat aliate, care în condiții obișnuite nu pot fi tăiate cu flacăra. Astfel, *la fonte* temperatura de topire este de circa 1200°C, fiind cu mult sub temperatura de ardere în exces de oxigen — peste 1400°C (vezi fig. 7.105). În aceste condiții termice, fontele ar putea fi tăiate prin topire și nu prin ardere, însă cu un consum foarte mare de gaze, rezultînd o lățime exagerată a tăieturii și suprafețe de calitate ne-

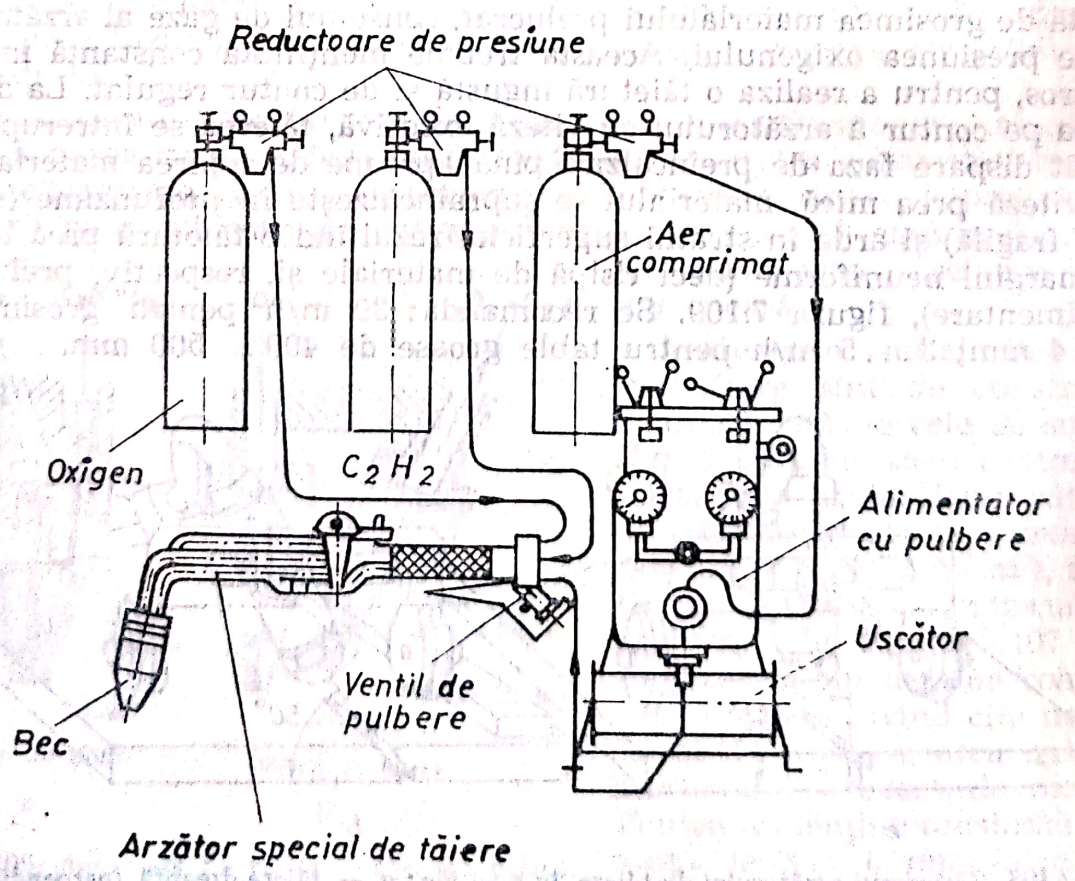


Fig. 7.110. Schema instalației de tăiere cu flacără oxiacetilenică și pulberi metalice.

corespunzătoare. *La oțeluri bogat aliate* se formează oxizi de crom cu temperatura de topire foarte ridicată (2200°C), care se solidifică, întrerupînd tăierea.

Aceste aliaje pot fi tăiate ușor și economic dacă, în secțiunea de tăiere, se insuflă pulbere de fier sau flux pe bază de pulbere de fier. Prin arderea pulberii se dezvoltă o cantitate suplimentară de căldură și se modifică compoziția chimică a băii metalice și zgurii topite; ca urmare temperatura de ardere a metalului în exces de oxigen scade sub temperatura de topire, iar oxizii greu fuzibili sînt înglobați în zgura eliminată de jetul flăcării.

În figura 7.110 este reprezentată schema instalației de tăiere cu pulberi metalice, iar în figura 7.111 o secțiune prin becul arzătorului special. Pulberea, cu un debit constant și reglabil, este antrenată din rezervorul alimentatorului de către jetul suplimentar de aer comprimat. Se utilizează pulbere de fier cu conținut scăzut de carbon (sub 0,1%C), de granulație 0,1 . . . 0,2 mm, la care se mai pot adăuga și alte pulberi (ferofosfor, pulbere de aluminiu, carbonat de sodiu, nisip cuarțos fin ș.a.) pentru îmbunătățirea condițiilor termice și mecanice de tăiere.

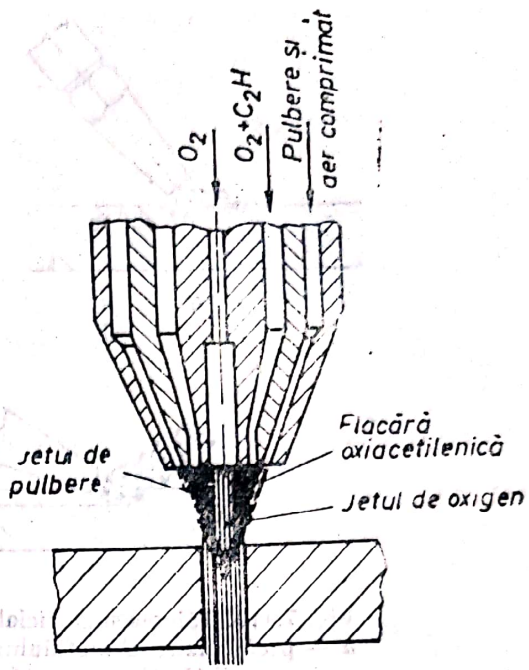


Fig. 7.111. Becul arzătorului special de tăiere cu flacără oxiacetilenică și pulberi metalice.

b. Tăierea metalelor cu flacără de gaze sub apă este utilizată pentru tăierea navelor scufundate, a podurilor căzute în apă sau alte lucrări subacvatice. Becul arzătorului are un canal inelar suplimentar care insuflă un jet puternic de aer comprimat și formează în apă o cavitate (balon) de protecție a flăcării. Funcție de adîncimea de imersie, se reglează presiunea oxigenului, acetilenei și aerului comprimat.

c. Tăierea superficială (cioplirea) metalelor cu flacără se folosește în turnătorii pentru remedierea unor defecte de suprafață ale pieselor și lingourilor din oțel, pentru pregătirea (teșirea) marginilor tablelor groase în vederea sudării, pentru practicarea unor canale pe suprafața pieselor masive ș.a. (fig. 7.112).

7.9.3. Tăierea cu arc electric

Tăierea metalelor și aliajelor prin topire cu arc electric este folosită mult mai limitat decît tăierea cu flacără. Se folosesc electrozi din cărbune sau electrozi fuzibili. Tăierea obținută este lată (cu pierderi mari de metal), suprafețele prelucrate au neregularități pronunțate, iar picăturile de metal depuse pot fi îndepărtate cu dificultate. În ultimul timp se folosește tot mai frecvent *cioplirea arc-aer*, cu ajutorul unui electrod din cărbune prins într-un port-electrod special, prin care se insuflă în zona arcului un jet de aer la presiunea de 5 0N/cm². Se obține o productivitate foarte ridicată și o calitate bună a suprafeței prelucrate, în special la

Scanned with OKEN Scanner

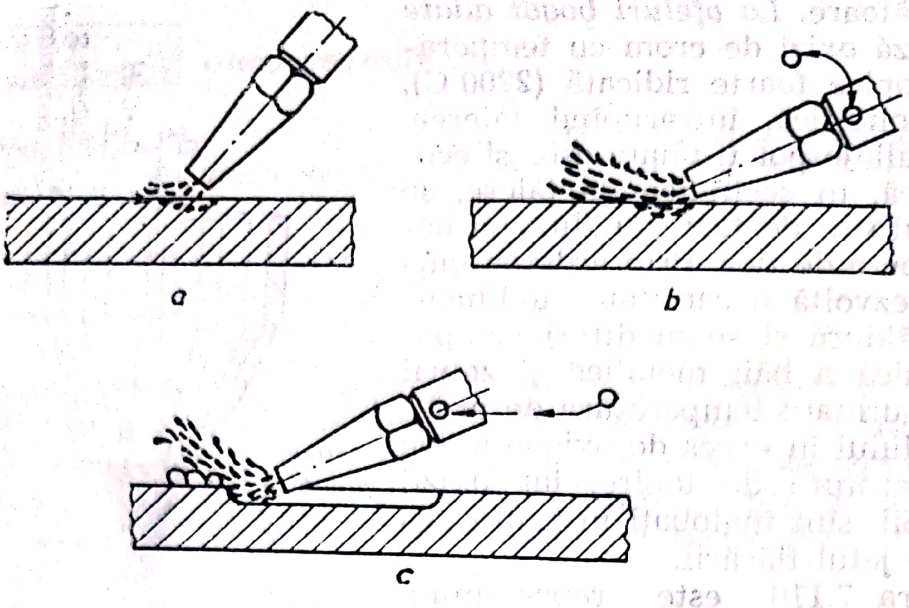


Fig. 7.112. Tăierea superficială a metalelor cu flacără oxiacetilenică: *a* — preîncălzire a metalului; *b* — înclinarea becului în vederea începerii tăierii; *c* — tăierea unui canal pe suprafața piesei.

cioplirea cordoanelor de sudură defecte, teșirea muchiilor înainte de sudare ș.a.

Tăierea oxielectrică a metalelor (oxiarc) folosește electrozi înveliți tubulari, prin care se insuflă oxigen în zona tăierii în vederea oxidării (arderii) metalului topit. Deoarece, la temperatura arcului, oxigenul disociază parțial în oxigen atomic, eficiența acestui procedeu este deosebită, putînd fi tăiate lingouri de grosimi pînă la 700 mm, precum și alte metale neferoase (Cu, Al și aliajele acestora) care, datorită conductivității termice, nu pot fi tăiate cu flacăra oxigaz. Tăietura obținută are însă dimensiuni imprecise și suprafață necorespunzătoare, fapt pentru care metoda se folosește numai în cazuri speciale (lingouri, șarje de metal neevacuate din oala de turnare, casări etc.).

O variantă este *tăierea oxiarc sub apă*, pentru care electrozii tubulari au un înveliș special, rezistent la apă.

7.9.4. Procedee neconvenționale de tăiere a metalelor

a — tăierea cu plasmă este folosită cu bune rezultate la oțelurile aliate, metalele și aliajele neferoase și unele materiale cu conductivitate electrică redusă.

Schema de principiu a unei instalații cu generator de plasmă este dată în figura 7.113. Arcul electric se formează între electrodul de wolfram aliat cu thoriu (izolat față de corpul generatorului) și duza din cupru răcită cu apă. Amestecul de argon și hidrogen traversează arcul și jetul de plasmă format este expulzat prin duză sub formă de lancie incandescentă cu temperatura de 6000 ... 30000°C. Temperatura, densitatea și lungimea jetului de plasmă se reglează prin modificarea poziției electrodului de wolfram, a parametrilor curentului și a debitului amestecului de gaze și proporției acestora.

Scanned with OKEN Scanner

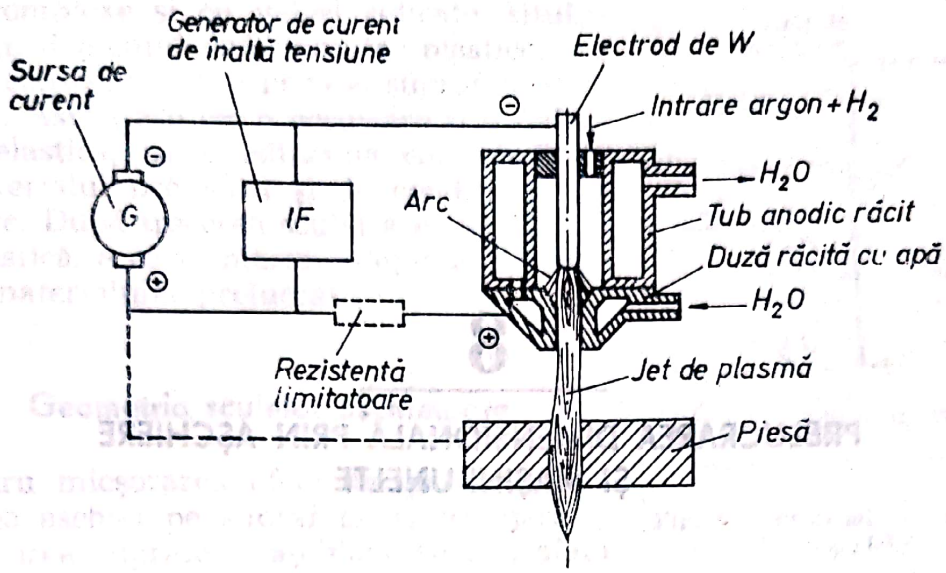


Fig. 7.113. Schema de principiu a unei instalații pentru tăiere cu plasmă.

Datorită energiei concentrate pe o secțiune redusă, fanta rezultată prin tăiere cu plasmă este de lățime mică.

b — tăierea cu fascicul de electroni și *c — tăierea cu fascicul de fotoni* (laser). Ambele procedee sînt utilizate, ca și procedeul precedent, pentru debitarea sau decuparea materialelor metalice care nu pot fi prelucrate prin procedee uzuale (convenționale). Principiul și metoda de lucru au fost prezentate în capitolele de prelucrări neconvenționale.

Scanned with OKEN Scanner

8

PRELUCRAREA DIMENSIONALĂ PRIN AȘCHIERE ȘI MAȘINI-UNELTE

Prelucrarea prin așchiere presupune îndepărtarea unui surplus de material — adaos de prelucrare — rămas sau lăsat de la alte prelucrări (turnare, forjare, laminare etc.), sub formă de așchii. Așchia se formează sub acțiunea unei scule prevăzute cu cel puțin o muchie tăietoare. Datorită posibilității de a modifica dimensiunile așchiei (pînă la valori microscopice) și de conducere sigură și controlată a sculei, suprafețele generate, atît ca precizie dimensională, cît și geometrică, se situează la cele mai înalte calități. Este suficient să amintim că se pot obține suprafețe de geometrie corectă, cu luciu de oglindă și precizie de ordinul micrometrilor și chiar submicrometrice.

Generarea suprafețelor se face prin intermediul unui ansamblu format din piesa de prelucrat, sculă și mașină-unealtă, a cărui rigiditate contribuie la calitatea generală a prelucrării. Dacă rolul sculei se deduce ușor și poate fi rezumat la îndepărtarea surplusului de material sub formă de așchie, rolul mașinii-unelte este mai complex. Funcțiile mașinii-unelte sînt multiple și anume: furnizează energia necesară procesului de așchiere, asigură fixarea sculei și a piesei, conduce mișcările piesei și a sculei, necesare formării așchiei și generării geometriei suprafeței așchiate. Mașina-unealtă trebuie să aibă o mare capacitate de adaptare pentru a putea acoperi un domeniu de prelucrare cît mai mare, atît din punct de vedere al materialelor, cît și al dimensiunilor pieselor așchiate. Mașinile-unelte, considerate ca adevărate mîini mecanice, se fabrică în prezent în foarte multe variante funcționale și constructive.

8.1. FORMAREA ȘI ÎNDEPĂRTAREA AȘCHIEI

Așchia se formează și se îndepărtează prin apăsarea sculei, prevăzută cu o muchie tăietoare, pe material, apăsare care determină o stare de tensiuni ilustrate în figura 8.1. La depășirea limitei de rupere la forfecare, de-a lungul planului *I* se produc alunecări și așchia se ridică pe suprafața frontală a sculei, numită suprafață de degajare. La înaintarea sculei cu viteză constantă, fenomenul de alunecare și rupere parțială sau totală prin forfecare se repetă cu regularitate, la intervale și cu amplitudini care depind de caracteristicile materialului așchiat și de condițiile de lucru. În afară de formarea și îndepărtarea așchiei, starea de ten-

Scanned with OKEN Scanner

siuni complexe și cu valori ridicate, situîndu-se în domeniul deformațiilor plastice, are și alte consecințe care privesc suprafața prelucrată. Astfel are loc o ecruisare și o deformare elastică, pe o adîncime care depinde de materialul prelucrat și de condițiile de așchiere. După trecerea sculei are loc relaxarea elastică, a cărei mărime depinde de calitățile materialului prelucrat.

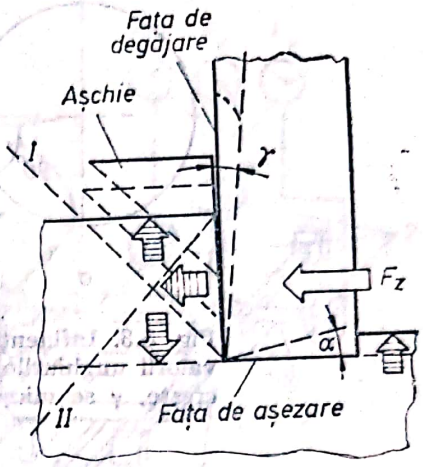


Fig. 8.1. Procesul de formare a așchiei.

8.1.1. Geometria sculelor așchietoare

Pentru micșorarea efectelor provocate de frecarea așchiei pe suprafața de degajare și de frecarea suprafeței așchiate pe suprafața din spatele muchiei tăietoare a sculei, numită **suprafață de așezare**, ca urmare a deformării și relaxării elastice și în același timp pentru asigurarea unei mai bune angajări a sculei în material, ea trebuie să aibă o geometrie bine definită (fig. 8.1), caracterizată de prezența unui *unghi de degajare* γ, și un *unghi de așezare* α, între cele două plane, de degajare și de așezare. La intersecția dintre ele se află *muchia tăietoare* a cuțitului. În afară de aceste elemente principale de geometrie, diferitele părți ale zonei active a sculei sînt arătate și definite pe un cuțit de strung, considerat ca o sculă generalizată (fig. 8.2). Valorile elementelor de geometrie a sculelor depind, printre altele, de materialul care se prelucrează, materialul sculei, caracterul prelucrării. Deși există relații de calcul pentru determinarea lor exactă, în practică se folosesc nomograme sau tabele de valori, în special pentru unghiurile de degajare și așezare, deduse prin calcule. Poziționarea necorectă a sculei în timpul așchierii poate schimba sensibil valorile unor unghiuri, influențînd condițiile de așchiere (fig. 8.3).

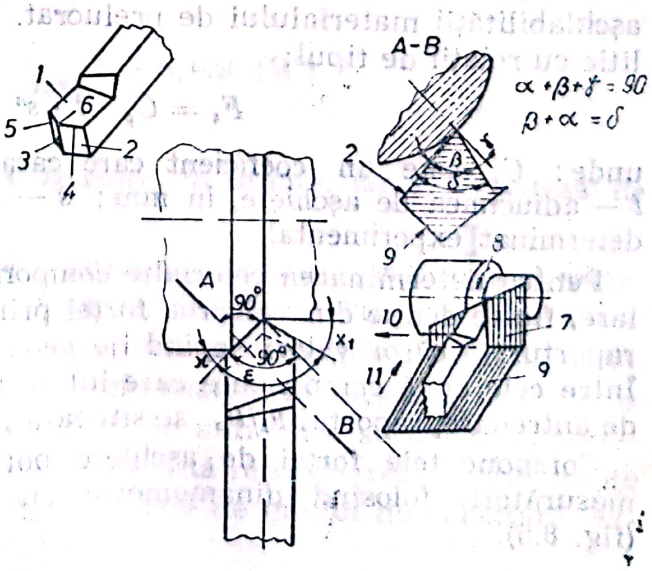


Fig. 8.2. Geometria cuțitului de strung: *1* — fața de degajare; *2* — fața de așezare principală; *3* — fața de așezare secundară; *4* — muchia așchietoare principală; *5* — muchia așchietoare secundară; *6* — vîrful cuțitului; *7* — planul de așchiere; *8* — mișcarea de rotație a piesei pentru așchiere; *9* — planul de bază; *10* — mișcarea de avans longitudinală; *11* — mișcarea de avans transversal; α — unghi de așezare; β — unghi de ascuțire; δ — unghi de așchiere; γ — unghi de degajare; ε — unghiul la vîrf; $\varkappa$ și $\varkappa_1$ — unghi de atac principal și secundar.

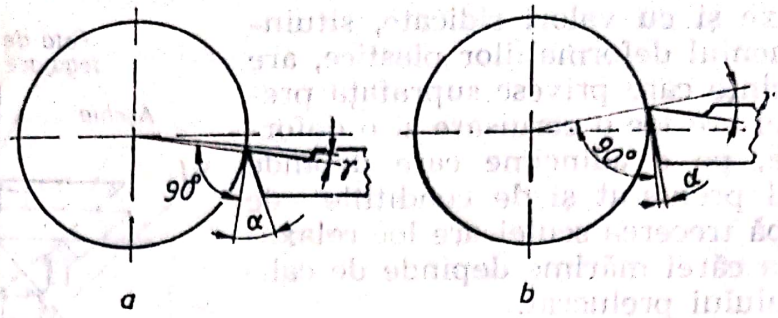


Fig. 8.3. Influența poziției sculei în timpul așchierii asupra valorii unghiurilor de așezare și degajare: *a* — prea jos (α crește, γ se micșorează); *b* — prea sus (α se micșorează, γ crește).

8.1.2. Forța de așchiere

Cînd un material este supus așchierii, apar *apăsări de așchiere* pe muchia tăietoare și fețele active ale sculei, a căror însumare determină forța de așchiere. Orientarea ei depinde de geometria soulei așchietoare, iar mărimea ei de caracteristicile materialului de așchiat, secțiunea așchiei etc. Forța de așchiere, acționînd pe muchia așchietoare, poate fi descompusă după diferite sisteme de referință. Cel mai obișnuit sistem este cel cartezian. Aplicat prelucrării prin strungire (fig. 8.4), cele trei componente (F_z, F_x și F_y) raportate la procesul de așchiere au următoarele semnificații:

— F_z este forța principală de așchiere, care determină formarea și ridicarea așchiei;

— F_x — forța de avans, care asigură repetarea ciclului procesului de așchiere;

— F_y — forța de respingere, care caută să scoată scula din contact cu materialul.

Cunoașterea valorii forței de așchiere și a componentelor ei prezintă deosebită importanță, atît pentru determinarea puterii motorului de antrenare, dimensionării sculei și a mașinii-unelte, cît și pentru aprecierea așchiabilității materialului de prelucrat. Valorile pot fi determinate analitic cu relații de tipul:

$$F_z = C_p \cdot t \cdot s^n \ [\text{daN}],$$

unde: C_p este un coeficient care caracterizează condițiile de lucru; t — adîncimea de așchiere, în mm; s — avansul, în mm; n — exponent determinat experimental.

Pentru determinarea celorlalte componente fie se folosesc relații similare, fie se deduc din valoarea forței principale de așchiere pe baza unor raporturi a căror valori depind de geometria soulei și materialul piesei. Între cele două componente care interesează și dimensionarea motorului de antrenare, raportul F_z/F_x se situează între 3 și 1,7.

Componentele forței de așchiere pot fi determinate și direct, prin măsurători, folosind dinamometre cu tot atîtea grade de libertate (fig. 8.5).

Scanned with OKEN Scanner

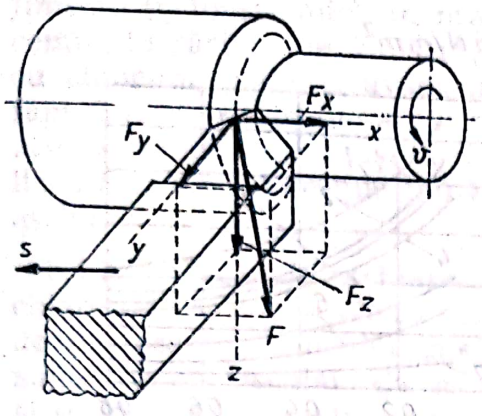


Fig. 8.4. Forța de așchiere F și componentele ei.

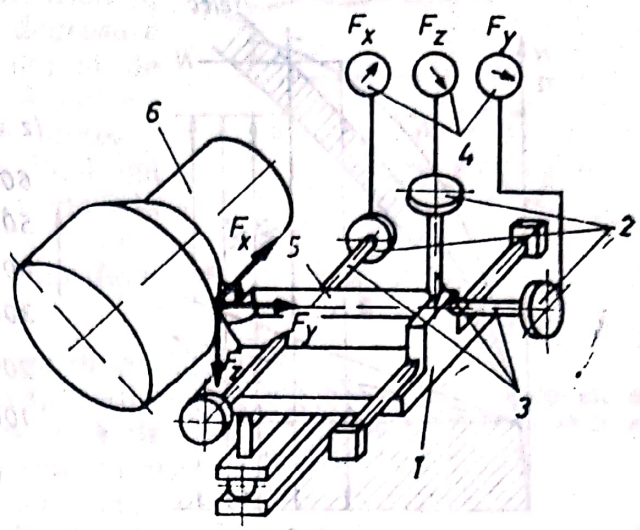


Fig. 8.5. Dinamometru piezoelectric cu 3 grade de libertate pentru determinarea componentelor forței de așchiere: *1* — bloc port cuțit; *2* — traductori piezoelectrici; *3* — pîrghii; *4* — aparate de măsură; *5* — sculă; *6* — piesa așchiată.

8.1.3. Determinarea puterii motorului de antrenare

Puterea motorului de antrenare N_m a mașinii-unelte trebuie să asigure, atît necesarul de energie pentru ridicarea așchiei și continuitatea procesului, considerată putere utilă N_u, cît și necesarul acoperirii unor pierderi în gol N_g, și a celor suplimentare N_s.

$$N = N_u + N_g + N_s = N_z + N_x + N_g + N_s$$

$$N_z = \frac{F_z \cdot v}{60 \cdot 75} \cdot 735{,}449\ [\mathrm{W}]$$

$$N_z = \frac{F_z \cdot s'}{60 \cdot 75 \cdot 1000} \cdot 735{,}449\ [\mathrm{W}]$$

în aceste relații v fiind viteza de așchiere, în m/min, iar s' — viteza de avans, în mm/min.

Pierderile în gol sînt legate de soluțiile constructive, calitatea și mărimea elementelor cinematice în mișcare, lungimea lanțului cinematic, gradul de uzură etc., iar cele suplimentare de reacțiile determinate de către forțele de așchiere în lanțurile cinematice în mișcare. Desigur că pentru dimensionarea puterii motorului de antrenare se iau în considerare valorile maxime. În figura 8.6 se prezintă repartizarea puterii livrate de motorul electric de antrenare, în funcție de gradul de solicitare, exprimat prin secțiunea așchiei.

Scanned with OKEN Scanner

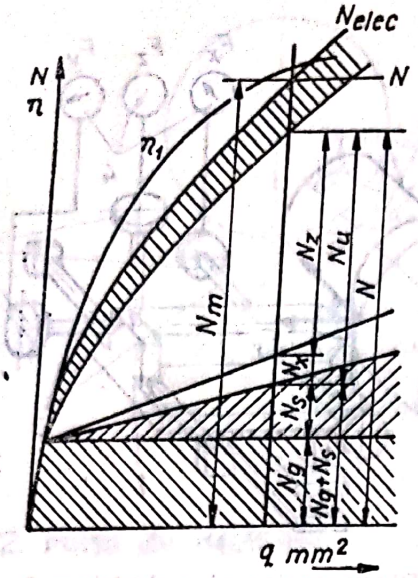


Fig. 8.6. Diagrama repartizării puterii motorului de antrenare a maşinii-unelte în funcţie de secţiunea aşchiei q.

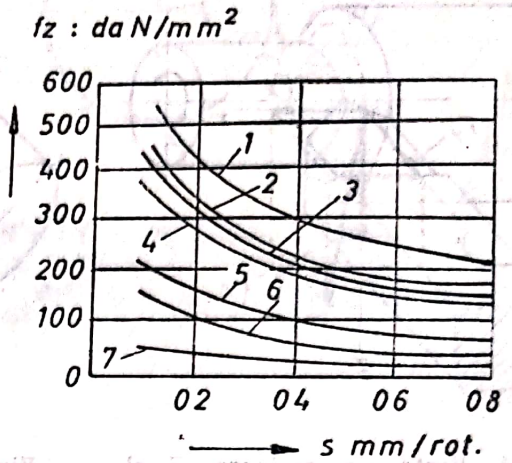


Fig. 8.7. Variaţia forţei specifice de aşchiere, f_z, în funcţie de materialul aşchiat şi avans (t şi v constante): *1* — oţel de scule; *2* — oţel OL 700; *3* — oţel OL 500; *4* — oţel turnat OT 500 — OT 700; *5* — fontă cenuşie Fc 200; *6* — aluminiu; *7* — carton bachelitizat.

8.1.4. Aprecierea aşchiabilităţii materialelor

Una din căile folosite pentru aprecierea aşchiabilităţii unui material este de evaluare a forţei specifice (apăsării) de aşchiere f_z. Cu cît ea este mai mică, materialul este mai uşor aşchiabil:

$$f_z = \frac{F_z}{q} \text{ [N/mm²]}, \text{ unde } q \text{ este secţiunea aşchiei, în mm².}$$

În figura 8.7 se arată variaţia *forţei specifice de aşchiere* pentru cîteva materiale, în funcţie de mărimea avansului. Viteza de aşchiere influenţează în măsură prea mică valoarea lui f_z şi de aceea nu se face nici o specificaţie.

8.1.5. Regimul de aşchiere

Regimul de aşchiere, definit prin secţiunea aşchiei q, în mm² şi viteza de aşchiere v, în m/min (mai rar în m/s) determină în mare măsură solicitarea maşinii-unelte şi a sculei, precum şi productivitatea ei. Comportarea sculei într-un anumit regim de aşchiere se apreciază prin *durata muchiei aşchietoare* între două ascuţiri (T, min).

8.1.5.1. **Secţiunea aşchiei.** Din figura 8.8 rezultă că secţiunea aşchiei q poate fi considerată ca produsul dintre cele două elemente ale aşchierii — avansul s, în mm/rot, sau mm/cursă dublă, şi adîncimea de aşchiere t, în mm — sau elementele aşchiei în formare — grosimea aşchiei a, în mm şi lăţimea ei b, tot în mm:

$$q = s \cdot t = a \cdot b \text{ [mm²]}.$$

În funcție de valoarea secțiunii așchiei, procesul de așchiere poate fi: de *degroșare* (q mare), de *semifinisare* (q mic) și de *finisare* (q foarte mic). În practică, cu excepția lucrărilor de finisare, se lucrează cu adîncime mare și avans mic. Pe lîngă faptul că se poate lucra cu viteze mari la aceeași solicitare a mașinii-unelte, se realizează și o calitate mai bună a suprafeței așchiate.

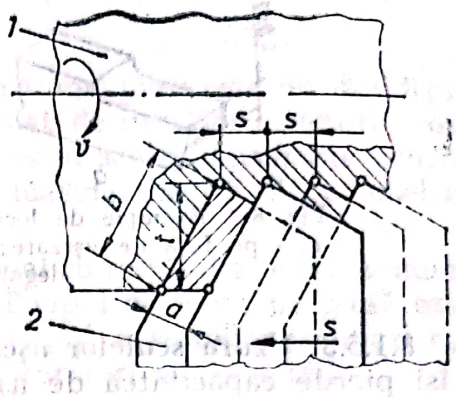


Fig. 8.8. Componentele secțiunii așchiei la strunjire: *1* — piesă în rotație; *2* — cuțit.

8.1.5.2. **Viteza de așchiere.** Viteza de așchiere se consideră viteza relativă, medie, de deplasare a muchiei tăietoare față de suprafața de așchiat. Ea se notează cu v și se măsoară în metri pe minut cu excepția rectificării unde se măsoară în metri pe secundă. Valoarea vitezei de așchiere se alege în așa fel, încît în condițiile date (materialul piesei, al sculei, secțiunea așchiei, condiții de răcire etc.), muchia așchietoare să-și mențină capacitatea de așchiere, pînă la o nouă ascuțire, un timp determinat. Acest timp va trebui să fie cu atît mai mare, cu cît scula este mai complexă, mai dificil de ascuțit. Valorile vitezelor de așchiere, în condițiile menținerii capacității de tăiere un timp determinat, numite și *viteze economice de așchiere*, se prezintă, orientativ, în tabelul 8.1 și ele sînt funcție de materialul de așchiat, materialul sculei și metoda de prelucrare.

Tabelul 8.1

Valori ale vitezelor de așchiere și avans pentru diferite materiale și metode de prelucrare

Material		Parametri procesului de așchiere	Metoda de prelucrare			
Piesa	Scula		Strunjire	Rabotare	Frezare	Găurire
Oțel OL 370	Oțel scule	v*	5,4...10,8	4,2...10,8	7,2... 18,0	10,8
		s	3,0... 0,1	5,0... 0,2	150 ... 10	0,3...0,02
	Oțel rapid	v	15,0...27,0	6,0...15,0	18,0... 42,0	21,6
		s	5,0... 0,5	10,0... 0,6	300 ... 15	0,4...0,02
Oțel OL 500	Oțel scule	v	6,0... 9,0	3,6... 7,8	7,2... 15,0	7,2
		s	2,5... 0,1	5,0... 0,2	150 ... 10	0,3...0,03
	Oțel rapid	v	12,0... 24,0	6,0...15,0	15,0... 36,0	14,4
		s	4,0... 0,5	10,0... 0,6	250 ... 15	0,5...0,03
Fontă cenușie	Oțel scule	v	4,5... 9,0	3,6... 7,8	6,0... 15,0	9,0
		s	3,0... 0,1	5,0... 0,2	250 ... 15	0,4...0,03
	Oțel rapid	v	12,0... 19,0	6,0...15,0	15,0... 36,0	18,0
		s	5,0... 0,5	10,0... 0,6	250 ...250	0,75...0,03
Aliaje de cupru	Oțel scule	v	18,0... 21,0	9,0...18,0	18,0... 36,0	18,0
		s	2,0... 0,1	6,0... 0,2	200 ... 20	0,5...0,05
	Oțel rapid	v	18,0... 39,0	12,0...24,0	36,0... 60	30,0
		s	3,0... 0,5	3,0... 0,2	300 ... 30	0,7...0,1
Aliaje de aluminiu	Oțel scule	v	25,0... 40,0	—	50,0... 80,0	—
		s	2,0... 0,1		100,0... 50,0	
	Oțel rapid	v	80,0...250,0	24,0...48,0	100,0... 30,0	80,0...180,0
		s	1 ... 0,1	2,0... 0,1	150,0... 80,0	1,0 ...0,1

* v [m/min]; s [mm/rot]

Scanned with OKEN Scanner

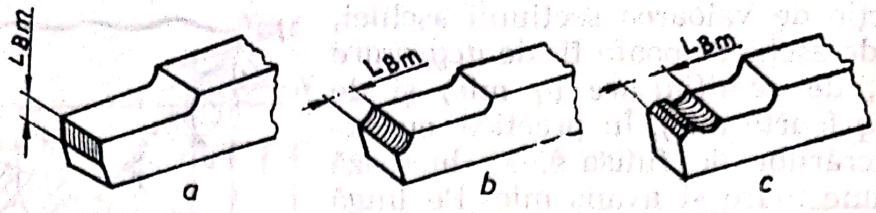


Fig. 8.9. Exemple de localizare a uzurii muchiei aşchietoare a sculelor: *a* — pe faţa de aşezare; *b* — pe faţa de degajare; *c* — pe faţa de degajare cu formare de crater.

8.1.5.3. **Uzura sculelor aşchietoare.** Stabilirea momentului cînd o sculă îşi pierde capacitatea de aşchiere este dificil şi, de aceea, s-a stabilit, în mod convenţional, că pierderea capacităţii de (aşchiere trebuie legată de lăţimea zonei degradate B''' a muchiei aşchietoare. Lăţimea zonei degradate, care poate să se producă pe diferitele părţi ale sculei (fig. 8.9), creşte în timp cu atît mai repede, cu cît viteza de aşchiere este mai mare. Între viteza de aşchiere şi *durata muchiei aşchietoare* T este următoarea relaţie: $v \cdot T^n = \text{const.}$, unde exponentul n este dependent de condiţiile de aşchiere, de materialul de aşchiat şi al sculei, maşina utilizată, modul de prindere al sculei etc. şi se determină experimental.

După trecerea timpului T în procesul de aşchiere, respectiv creşterea zonei degradate pînă la o valoare precizată, scula trebuie *reascuţită*, pentru refacerea geometriei iniţiale.

8.1.6. Materiale pentru scule

Pentru confecţionarea sculelor aşchietoare, cel puţin pentru partea lor activă, se folosesc materiale cu duritate mare, rezistente la uzare, proprietăţi care să se menţină şi la temperaturi ridicate. Dintre materialele folosite menţionăm: oţeluri carbon pentru scule, oţeluri aliate pentru scule, aliaje dure, materiale mineralo-ceramice, minerale naturale sau sintetice, diamant etc. Cele mai folosite sînt materialele metalice. Comportarea lor în exploatare, din punct de vedere al uzării, se pune în evidenţă în figura 8.10.

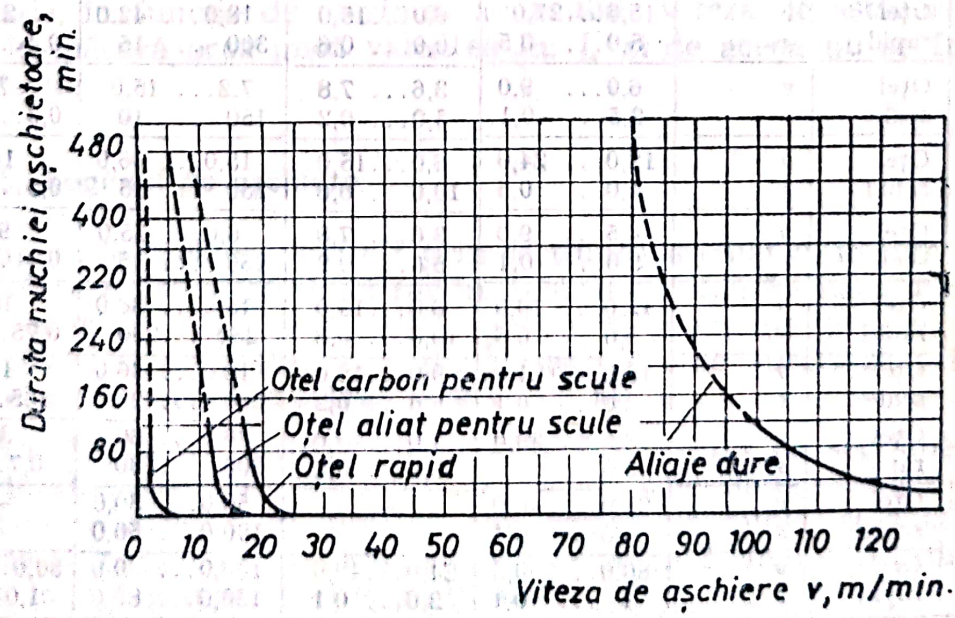


Fig. 8.10. Durata muchiei aşchietoare în funcţie de materialul sculei şi viteza de aşchiere.

Scanned with OKEN Scanner

8.1.7. Costul aşchierii

Reducerea costului prelucrării prin aşchiere a unei piese este un deziderat permanent. Costul aşchierii C_a, este determinat de următorii factori: costul manoperii (mîinii de lucru directe) C_m; costul sculei consumate pentru prelucrarea piesei C_{sp}; cheltuieli legate de maşina-unealtă C_{m-u}; cheltuieli generale indirecte C_{gi}.

Costul mîinii de lucru directe este proporţional cu retribuţia orară a muncitorului S_h, şi timpul de lucru pe piesă t_p. Timpul de lucru pe piesă este determinat de însumarea timpului de aşchiere t_a şi a timpilor auxiliari t_{aux} (fixarea piesei, a sculei, reglarea maşinii, măsurători etc.). Astfel:

$$C_m = S_h \cdot t_p = S_h (t_a + t_{aux}).$$

La determinarea *costului sculei consumate*, trebuie să se ţină seama de mai multe elemente cuprinse în relaţia:

$$C_{sp} = \frac{t_a}{T} \frac{C_{is} - C_r + n_a \cdot C_a}{n_a + 1},$$

unde t_a este timpul de aşchiere; T — durata muchiei aşchietoare între două ascuţiri; C_{is} — costul iniţial al sculei; C_r — valoarea rămasă după ultima ascuţire; n_a — numărul de ascuţiri necesare prelucrării unei piese; C_a — costul unei ascuţiri.

Cheltuielile legate de maşina-unealtă cuprind cheltuielile de amortisment, de întreţinere, de energie etc., iar cele indirecte pe cele de regie. Deci costul prelucrării unei piese se poate calcula cu relaţia:

$$C_a = C_m + C_{sp} + C_{m-u} + C_{gi}.$$

Deoarece C_m şi C_{sp} sînt strîns legate de viteza de aşchiere, variaţia costului aşchierii se poate urmări în funcţie de viteza de aşchiere. În fiecare caz dat există o *viteză*, zisă *economică*, pentru care costul aşchierii este minim. De fapt este vorba tocmai de vitezele de lucru recomandate de literatura de specialitate, prezentate parţial şi orientativ în tabelul 8.1.

8.2. TOLERANŢE ŞI AJUSTAJE

În industria constructoare de maşini şi aparate, mai ales în cadrul producţiei de serie mare şi masă, piesele trebuie realizate în anumite condiţii de calitate, reproductibilitate, în special cu precizie dimensională ridicată. Mărimea dimensiunilor de realizat se defineşte în documentaţia tehnică (desen de execuţie, fişă tehnologică) prin *valori* denumite *nominale*. Verificarea prin măsurători a *mărimii realizate* va pune în evidenţă că între *dimensiunea nominală* şi cea măsurată, denumită *dimensiune efectivă*, vor exista diferenţe mai mult sau mai puţin importante. De altfel este aproape imposibil să se realizeze şi să se măsoare, două sau mai multe exemplare, exact cu aceeaşi dimensiune nominală, atît din cauza erorilor de prelucrare, cît şi a celor de măsurare. La o dimensiune nominală de 45,000 mm se va obţine la o măsurare 45,070 mm, iar la alta 44,999 mm. Deoarece timpul şi costul fabricaţiei creso cu creşterea preciziei impuse, în construcţia de maşini (şi nu numai aici)

Scanned with OKEN Scanner

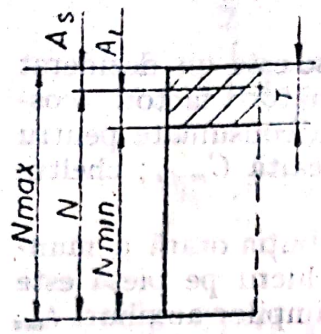


Fig. 8.11. Elementele dimensionale ale mărimilor liniare.

se adoptă următorul principiu: *dimensiunile prescrise ale pieselor nu trebuie să fie atît de precise, pe cît s-ar putea executa, ci atît, pe cît este necesar.*

8.2.1. Toleranțe

Principiul enunțat mai sus a dus la stabilirea unor toleranțe, adică la precizarea limitelor dimensiunilor efective față de dimensionarea nominală, pentru care produsul are încă valoare de întrebuințare.

De exemplu diametrul unui rotor de motor electric, pe desenul de execuție se prescrie de $250 \pm 0{,}5$ mm. Variația permisă de $\pm 0{,}5$ mm, nu va afecta buna funcționare a motorului electric dar va ușura sarcina fabricantului, deoarece toate rotoarele produse care vor avea diametrul efectiv cuprins între 250,5 și 249,5 mm vor fi bune. În legătură cu acest exemplu și acest aspect se impune precizarea următoarelor elemente dimensionale (fig. 8.11):

— dimensiunea nominală N, valoare luată ca bază pentru a caracteriza o anumită dimensiune, independent de diferențele admise pentru asigurarea funcționalității;

— dimensiunea reală, cea rezultată prin prelucrare N_r;

— dimensiunea efectivă N_{ef}, cea rezultată prin măsurători;

— dimensiunile limită, respectiv dimensiunea maximă N_{max} și dimensiunea minimă N_{min}.

În raport cu dimensiunea nominală, cele două dimensiuni limită se prezintă ca abateri, avînd în consecință, abaterea superioară $A_s = N_{max} - N$ și respectiv abaterea inferioară $A_i = N - N_{min}$. Toleranța T este tocmai diferența dintre cele două dimensiuni limită: $T = N_{max} - N_{min}$.

Nu totdeauna este obligatoriu ca cele două abateri să fie simetric dispuse față de dimensiunea nominală și nici să se situeze de ambele părți.

Abaterile și implicit mărimea toleranței se prescriu funcție de mărimea dimensiunii nominale, de locul și rolul funcțional al piesei.

8.2.2. Asamblări și ajustaje

Cînd două piese trebuie să se asambleze, formînd un subansamblu, rolul toleranței este și mai important. Cele două suprafețe de-a lungul cărora se realizează asamblarea se numesc *suprafețe conjugate*, una fiind suprafață cuprinzătoare (cuzinet, locaș de pană, cilindru motor, stator etc.), cealaltă, interioară sau suprafață cuprinsă (fus, pană, piston, rotor etc.). Cele două suprafețe conjugate sînt legate între ele prin aceeași mărime a dimensiunii nominale. Cînd se notează literar, simbolurile dimensiunilor cuprinzătoare sînt litere majuscule (D — pentru alezaje; L — pentru lungimi; B — pentru lățimi; A_s și A_i — pentru abateri) și litere mici pentru dimensiunile suprafețelor cuprinse (d, l, b, a_s și a_i).

În funcție de valorile dimensiunilor efective, două piese conjugate pot să formeze, fie un *ansamblu cu joc* ($D_{ef} > d_{ef}$), fie unul *cu strîngere* ($D_{ef} < d_{ef}$).

Scanned with OKEN Scanner

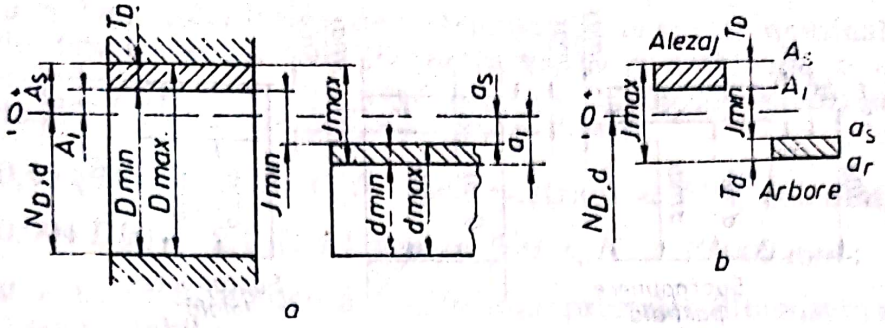


Fig. 8.12. Ajustaj cu joc: *a* — reprezentare convenţională; *b* — reprezentare simplificată prin cîmpuri de toleranţe.

Prin asamblarea unui lot de piese conjugate (lagăre cu arbori, statoare cu rotoare, cilindri cu pistoane etc.) se obţine ceea ce se numeşte un *ajustaj*.

Ajustajul caracterizează raportul care există între două loturi de piese conjugate (avînd deci aceeaşi dimensiune nominală), în stare montată, din punct de vedere al jocurilor şi al strîngerilor.

După valoarea abaterilor, respectiv a poziţiei cîmpurilor de toleranţă ale pieselor conjugate, se deosebesc trei tipuri de ajustaje: cu joc, cu strîngere şi intermediar.

8.2.2.1. **Ajustajele cu joc** (fig. 8.12). Se obţin atunci cînd între dimensiunile efective ale suprafeţelor conjugate (de ex. cilindrice) este relaţia $D_{ef} > d_{ef}$, iar la limită, $D_{min} < d_{max}$. Valoarea jocului J, se va găsi între două limite: $J_{max} = D_{max} - d_{min}$ şi $J_{min} = D_{min} - d_{max}$. Diferenţa dintre ele este egală cu toleranţa jocului T_j:

$$T_j = J_{max} - J_{min} = D_{max} - d_{min} - (D_{min} - d_{max}) =$$
$$= D_{max} - D_{min} + d_{max} - d_{min} = T_D + T_d.$$

respectiv toleranţa jocului este egală cu suma toleranţelor celor două piese conjugate.

Acest tip de ajustaje se foloseşte pentru obţinerea asamblărilor mobile, întîlnite la diferite cuple cinematice (fus-lagăr, piston — cilindru etc.)

8.2.2.1. **Ajustaje cu strîngere** (fig. 8.13). Ele asigură obţinerea asamblărilor fixe şi se realizează atunci cînd $D_{ef} < d_{ef}$, iar la limită $D_{max} < d_{min}$. Aceste ajustaje se întîlnesc în situaţii ca: fretări, inele de strîngere, calări de rulmenţi pe arbori etc.

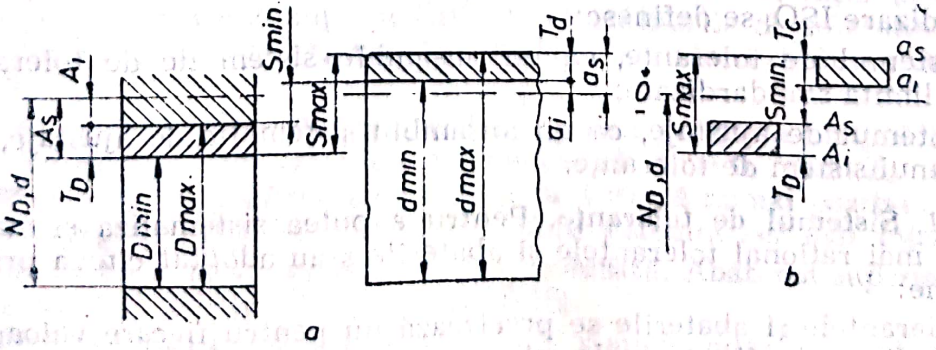


Fig. 8.13. Ajustaj cu strîngere: *a* — reprezentare convenţională; *b* — reprezentare simplificată prin cîmpuri de toleranţe.

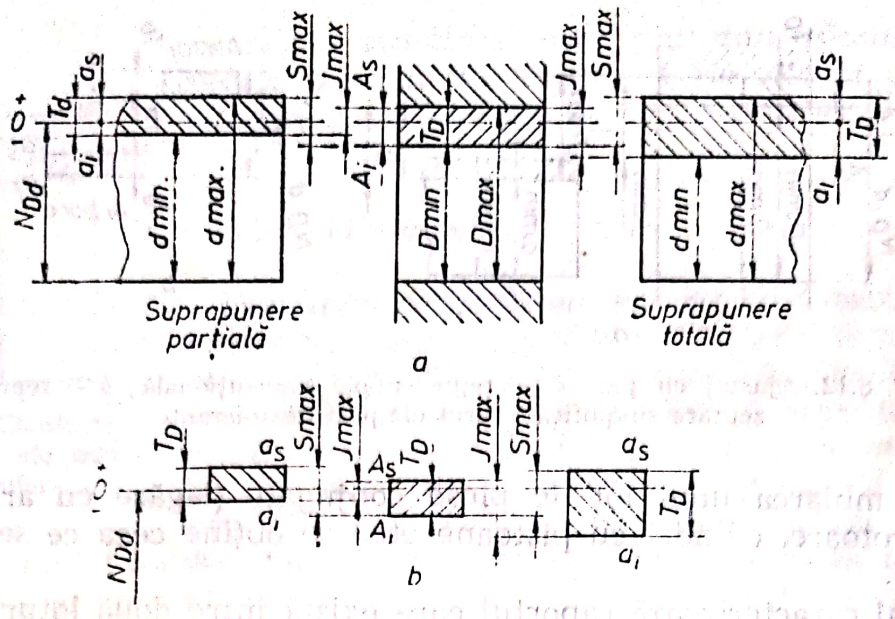


Fig. 8.14. Ajustaj intermediar: *a* — reprezentare convențională; *b* — reprezentare simplificată prin cîmpuri de toleranță.

Strîngerea S are şi ea două valori limită, S_{max} şi S_{min}, iar diferența dintre ele este chiar toleranța strîngerii T_s:

$$T_s = S_{max} - S_{min} = d_{max} - D_{min} - (d_{min} - D_{max}) =$$

$$= d_{max} - d_{min} + D_{max} - D_{min} = T_d + T_D.$$

8.2.2.2. **Ajustajele intermediare sau de trecere** se obțin atunci cînd cîmpurile de toleranțe ale suprafețelor conjugate se suprapun total sau parțial (fig. 8.14). În cadrul aceluiaşi ajustaj vom avea un joc maxim, $J_{max} = D_{max} - d_{min}$ şi o strîngere maximă $S_{max} = d_{max} - D_{min}$.

Toleranța ajustajului intermediar va fi:

$$T_{ai} = J_{max} + S_{max} = D_{max} - d_{min} + d_{max} - D_{min} =$$

$$= D_{max} - D_{min} + d_{max} - d_{min} = T_D + T_d.$$

8.2.3. Sisteme de toleranțe şi ajustaje

Conform STAS 8100—68, în concordanță cu sistemul internațional de standardizare ISO, se definesc:

— sistemul de toleranțe, ca un ansamblu sistematic de toleranțe şi abateri limită standardizate;

— sistemul de ajustaje, ca un ansamblu sistematic de ajustaje, aparținînd unui sistem de toleranțe.

8.2.3.1. **Sistemul de toleranțe.** Pentru a putea sistematiza şi standardiza cît mai rațional toleranțele şi abaterile s-au adoptat cîteva principii şi anume:

— toleranțele şi abaterile se precizează nu pentru fiecare valoare posibilă a dimensiunii nominale, ci pentru valoarea mediei geometrice a unui interval de dimensiuni nominale;

Scanned with OKEN Scanner

— pentru a lega toleranţele de mărimea dimensiunii nominale N şi de condiţiile tehnico-economice de prelucrare, se stabileşte o aşa-zisă *unitate de toleranţă* i, calculată după diferite relaţii. De exemplu, luînd ca bază metoda de prelucrare prin rectificare, avem:

$$i = 0{,}45\sqrt[3]{D(d)} + 0{,}001\,D(d)\ \ [\mu m]\ \text{pentru}\ 1 < N \leqslant 500\ \text{mm},$$

$$i = 0{,}004\,D(d) + 2{,}1\ \ [\mu m]\ \text{pentru}\ 500 < N \leqslant 10.000\ \text{mm};$$

— pentru a pune în evidenţă importanţa preciziei dimensionale şi a asamblării, s-au stabilit, experimental, 18 trepte de calitate, fiecare treaptă fiind caracterizată de toleranţa fundamentală IT, care se obţine prin produsul dintre unitatea de toleranţă i, şi cifra de calitate C_T.

$$IT = i \cdot C_T$$

În tabelul 8.2 se prezintă treptele de calitate cu simbolizarea toleranţei fundamentale şi domeniile de utilizare a diferitelor trepte de calitate.

Tabelul 8.2

Treptele de precizie, valoarea toleranţelor fundamentale şi domeniile de utilizare

Treapta de precizie	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Simbolul toleranţei fundamentale	IT 01	IT 0	IT 1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
Valoarea toleranţei fundamentale, μm	0,3 + 0,008 D	0,5 + 0,021 D	0,8+ 0,02 D	*	*	*	7·i	10·i	16·i	25·i	40·i	64·i	100·i	160·i	250·i	400·i	640·i	1000·i
Domeniul de utilizare	Calibre					Piese care formează ajustaje								Dimensiuni libere				

$i = 0{,}45\sqrt[3]{D} + 0{,}001\ D.$ * — i se calculează pe baza unor relaţii empirice.

8.2.3.2. Sisteme de ajustaje. Pentru a face sistemul şi mai raţional, s-a limitat şi numărul de combinaţii posibile între cîmpurile de toleranţe în vederea realizării diferitelor tipuri de ajustaje, standardizîndu-se două sisteme de bază:

— *sistemul alezaj unitar*, cînd se menţine aceeaşi poziţie a cîmpului de toleranţe a alezajului, care are abaterea inferioară $A_i = 0$, deci $T_d = A_s$ şi cînd, pentru realizarea diferitelor ajustaje, se variază numai poziţia cîmpului de toleranţe a arborelui (fig. 8.15). Este sistemul cel mai folosit;

— *sistemul arbore unitar* prezintă situaţia inversată. Abaterea superioară a arborelui, $a_s = 0$, şi deci $T_d = a_i$ (fig. 8.16).

Tot în ideea sistematizării şi raţionalizării s-au standardizat un număr limitat de poziţii ale cîmpurilor de toleranţe, poziţii determinate de abaterea fundamentală a cîmpului în raport cu linia zero. Fiecare

Scanned with OKEN Scanner

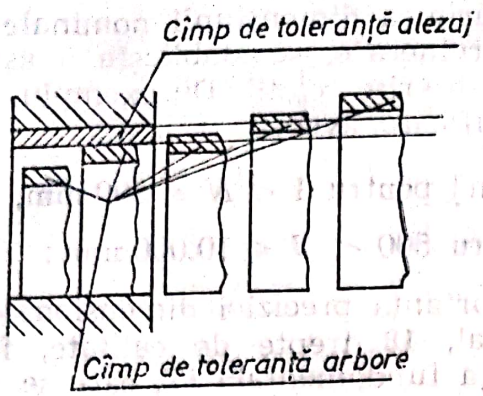


Fig. 8.15. Sistemul de ajustaje alezaj unitar.

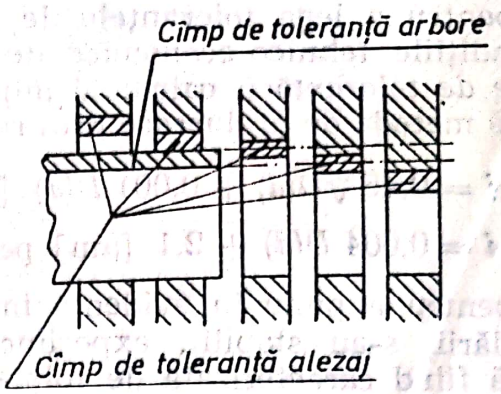


Fig. 8.16. Sistemul de ajustaje arbore unitar.

poziție standardizată a cîmpului de toleranțe se simbolizează cu literele alfabetului (simple sau combinate), majuscule pentru alezaj și litere mici pentru arbore (fig. 8.17). Se observă că pentru sistemul alezaj unitar corespunde poziția *H*, deoarece abaterea fundamentală este egală cu zero, iar pentru sistemul arbore unitar *h*, avînd abaterea fundamentală tot egală cu zero.

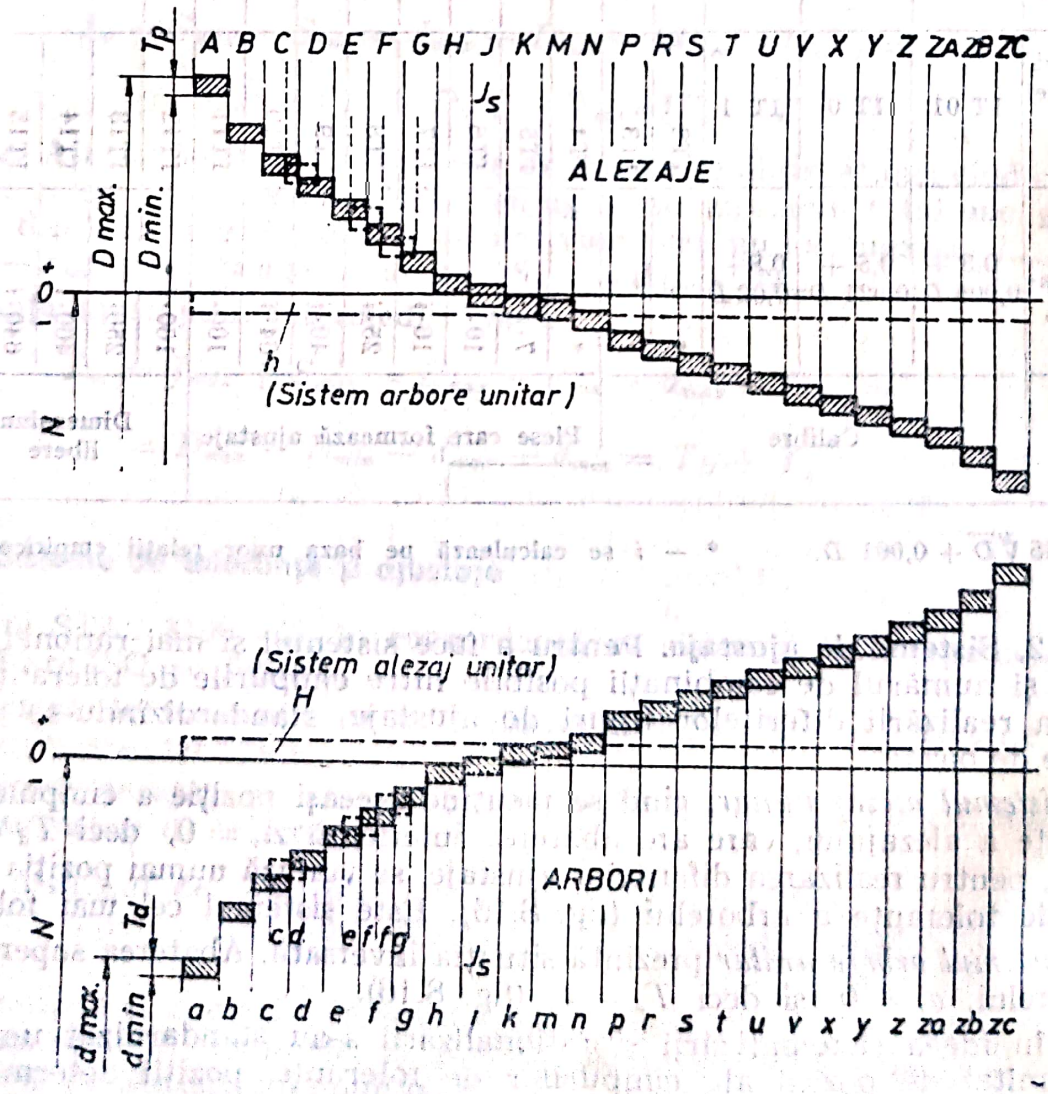


Fig. 8.17. Poziția cîmpurilor de toleranță în raport cu linia zero.

Scanned with OKEN Scanner

În consecință în sistemul alezaj unitar diferitele ajustaje se vor obține combinînd poziția *H* a alezajului cu diferitele poziții ale cîmpurilor de toleranțe ale arborilor și invers, pentru ajustajele din sistemul arbore unitar.

În practică nu se folosesc toate combinațiile posibile pentru a realiza un ajustaj. Ele se prescriu preferențial, în funcție de sistemul de ajustaj, precizia ajustajului și de temperatura de regim a ansamblului (tab. 8.3, *a* pentru sistemul alezaj unitar și tab. 8.3, *b* pentru sistemul arbore unitar).

Tabelul 8.3, *a*

		H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
Ajustaje cu joc	a			a 9			a 11	
	b			b 9			b 11	b 12
	c		c 8	c 9			c 11	
	d		d 8	d 9	d 10	d 10	d 11	
	e	e 7	e 8	e 9				
	f	f 6	f 7 f 6	f 8	f 9			
	g	g 5	g 6					
	h	h 5	h 6	h 8 h 7	h 9	h 10	h 11	h 12
Ajustaje intermediare	j	j 5	j 6	j 7				
	k	k 5	k 6	k 7				
	m	m 5	m 6	m 7				
	n	n 5 *	n 6	n 7 *				
Ajustaje cu strîngere	p	p 5	p 6 *	p 7 *				
	r	r 5	r 6	r 7 *				
	s	s 5	s 6	s 7				
	t	t 5	t 6					
	u	u 5	u 6	u 7				
	v	v 5	v 6					
	x	x 5	x 6	x 7				
	y		y 6	y 7				
	z		z 6	z 7				

Obs.: Cele încadrate sînt de prima preferință
* pentru ajustaje intermediare sau cu strîngere

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 8.3, *b*

Arbore unitar	h6	h7	h8	h9	h11
Ajustaje cu joc	G7; H7	F7; H8	E7; F8; H8	D8; H9	A11; B11 D11; H11
Ajustaje intermediare	J7; K7; M7; N7				
Ajustaje cu strîngere	P7; R7; S7; U7; X7; Z7				

8.2.4. Alte prescripţii de calitate

În afară de precizie dimensională, la aprecierea calităţii pieselor de maşini se iau în considerare şi alţi parametri şi anume: calitatea suprafeţei prelucrate care se apreciază prin rugozităţile lăsate de sculă şi care se exprimă în micrometri în cadrul unei lungimi de referinţă, fie ca medie aritmetică a rugozităţilor, R_a, fie ca adîncime medie R_z, sau adîncime maximă R_{max}; precizia formei geometrice, precizia poziţiei diferitelor elemente de geometrie a piesei şi calitatea suprafeţelor prelucrate. Abaterile şi toleranţele acestor indicatori de calitate, întocmai ca şi în cazul dimensiunilor, sînt standardizate şi în mod obligatoriu trebuie trecute pe desenele de execuţie. Deoarece aceste abateri şi toleranţe nu trebuie să compromită precizia dimensională, ele vor fi de valori mult mai mici decît toleranţele dimensionale şi se aleg în funcţie de acestea.

8.3. PRELUCRAREA PRIN AŞCHIERE ŞI MAŞINI-UNELTE

Prelucrările pe maşini-unelte, ca şi maşinile-unelte, s-au specializat încă de la început pe tipuri de geometrie a suprafeţelor generate. Crescînd pretenţiile de calitate şi de productivitate, maşinile-unelte s-au diversificat şi continuă să se diversifice, fie în direcţia universalizării, fie a specializării, cu sisteme de comandă din ce în ce mai perfecţionate, în care componentele şi dispozitivele electronice au un rol primordial. In acest capitol se prezintă metodele de aşchiere şi maşinile-unelte sub aspectul lor mecanic, devenite într-un anumit fel „clasice".

8.3.1. Prelucrarea prin strunjire. Strunguri

Prin strunjire se generează suprafeţe exterioare de revoluţie, folosind scule de forme simple, cu o singură muchie tăietoare principală. Pentru generarea acestor suprafeţe, maşina-unealtă, numită strung, trebuie să poată realiza o serie de *mişcări de bază*, şi anume (fig. 8.18, *a*): *mişcarea principală de aşchiere 1*, de rotaţie, executată de piesa *3*; *avansul longitudinal 2*, realizat în mod continuu de scula *4* şi-o deplasare transversală a sculei, ca *mişcarea de instalare 2'*. Deplasarea transversală *2'* putînd avea şi un caracter continuu, devenind mişcare de avans se pot genera şi suprafeţe plane, orientate perpendicular pe suprafaţa principală, de revoluţie (fig. 8.18, *b*). De asemenea, tot ca un caz particular, se pot genera şi suprafeţe de revoluţie interioare, însă de obicei, numai coaxiale cu suprafaţa exterioară şi de mică adîncime (fig. 8.18, *c*).

Scanned with OKEN Scanner

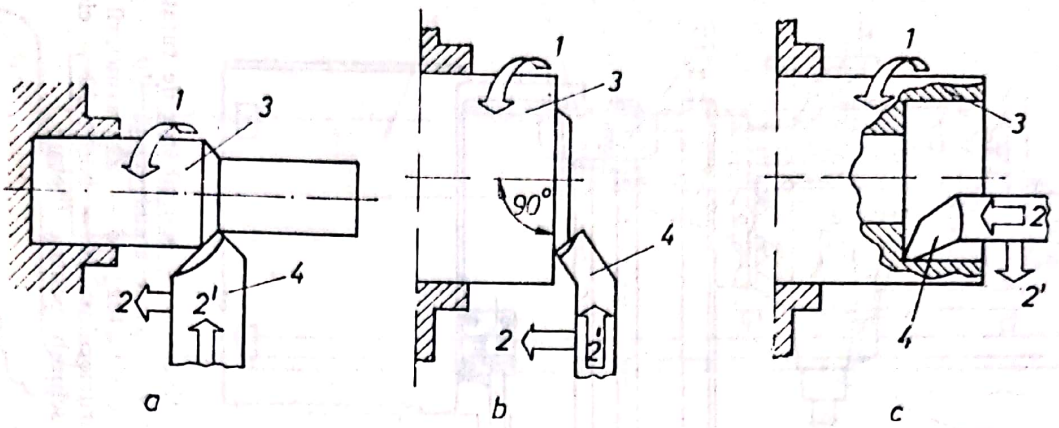


Fig. 8.18. Mişcările de bază la prelucrarea prin strunjire: *1* — mişcarea principală de aşchiere; *2* — mişcarea de avans longitudinal; *2'* — mişcarea de avans transversal; *3* — piesă; *4* — sculă; *a* — strunjire cilindrică exterioară; *b* — strunjire frontală; *c* — strunjire cilindrică interioară.

Sculele, deşi simple, se realizează în mai multe forme constructive (fig. 8.19), pentru a se putea adapta cît mai bine condiţiilor de lucru.

Datorită vechimii procedeului şi a strungurilor, precum şi a frecvenţei mai mari a suprafeţelor cilindrice exterioare în structura pieselor de maşini, strungurile sînt maşinile-unelte cele mai diversificate şi mai des întîlnite în atelierele de prelucrat prin aşchiere.

Principalele tipuri de strunguri sînt: strunguri normale, strunguri frontale, strunguri carusel, strunguri revolver, strunguri semiautomate, strunguri automate, strunguri cu destinaţie specială. Toate aceste tipuri se construiesc în diferite variante şi o gamă largă de tipodimensiuni. Din punct de vedere al principiului de funcţionare şi parţial structural, derivă din strungul normal.

8.3.1.1. **Strungul normal** (fig. 8.20), fiind prevăzut cu posibilităţi de strunjire, şi de filetare, are un grad mare de universalitate. Construcţia simplă şi rigidă asigură o calitate ridicată a pieselor prelucrate.

Piesele de prelucrat se fixează pe strung în diferite moduri (fig. 8.21.), cel mai reprezentativ fiind fixarea *între „vîrfuri"*, prin intermediul *găurilor de centrare* de la capetele piesei, deoarece în acest fel se materializează axa de simetrie (revoluţie) a suprafeţei generate şi ca urmare, se poate interveni asupra piesei în orice alte ocazii (prelucrarea pe o altă maşină, prelucrare de recondiţionare etc.) fără să se altereze coaxialitatea noii suprafeţe generate.

Deoarece piesele prea svelte, vu L/D mare, tind să se deformeze, atît sub acţiunea greutăţii proprii, cît şi a forţelor de aşchiere, ele trebuie sprijinite suplimentar pe dispozitive numite *lunete*, care pot fi

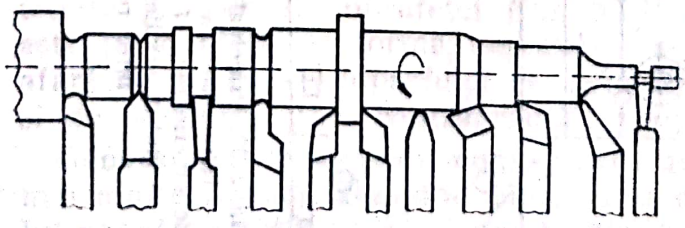


Fig. 8.19. Diferite tipuri de cuţite de strung.

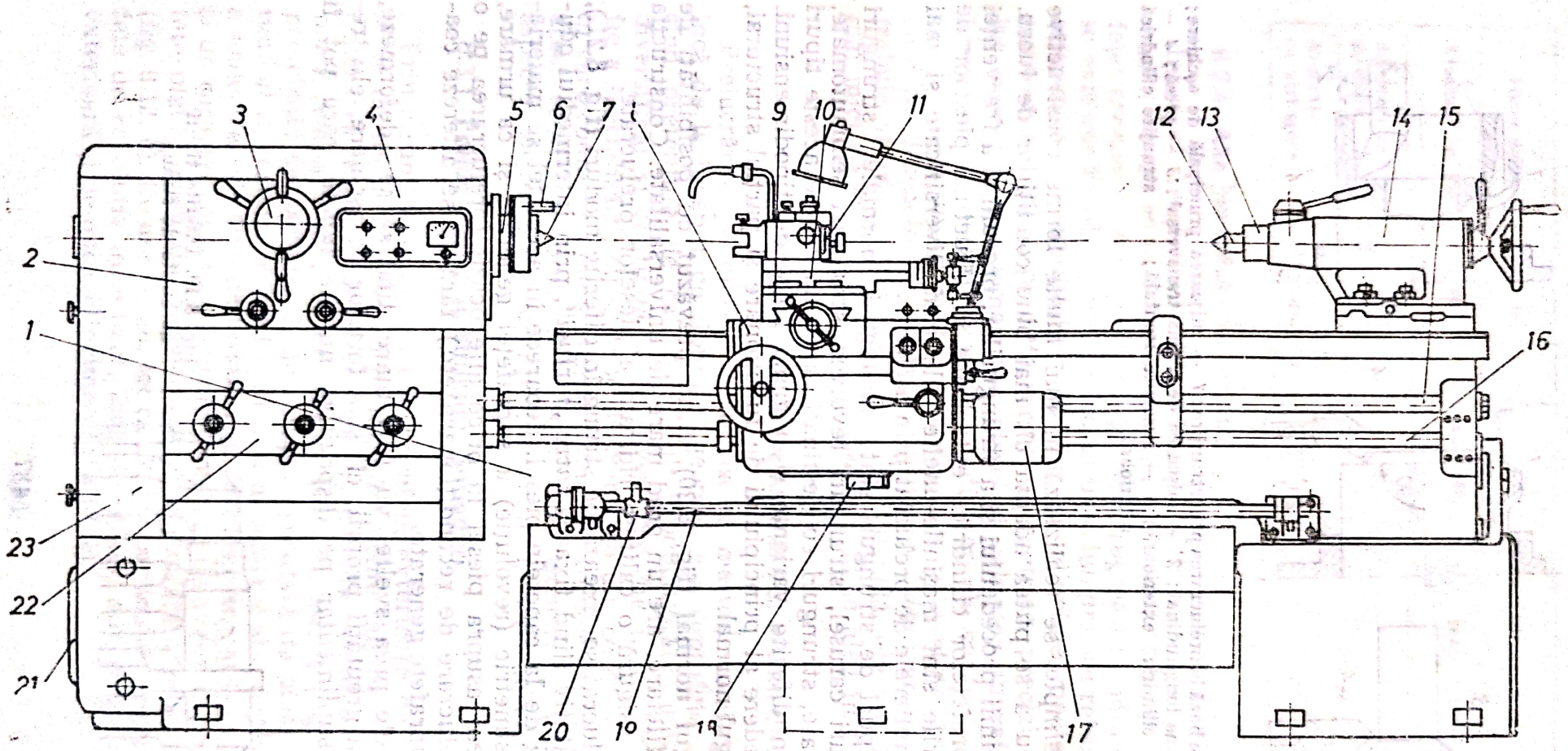


Fig. 8.20. Principalele părți componente ale strungului normal: *1* — patul strungului; *2* — păpușa fixă; *3* — schimbător de turații; *4* — tablou electric de comandă; *5* — arborele principal; *6* — dorn de antrenare; *7* — vîrf; *8* — cărucior; *9* — sanie transversală; *10* — sanie superioară; *11* — dispozitiv port-scule; *12* — vîrf; *13* — pinolă; *14* — păpușa mobilă; *15* — șurub conductor; *16* — axa avansurilor; *17* — motor auxiliar pentru deplasarea rapidă a căruciorului; *18* — opritor pentru decuplarea antrenării căruciorului; *19* — bară; *20* — ciocnitor reglabil; *21* — motorul de antrenare; *22* — cutia de avans; *23* — locașul roților de schimb pentru filetare.

Scanned with OKEN Scanner

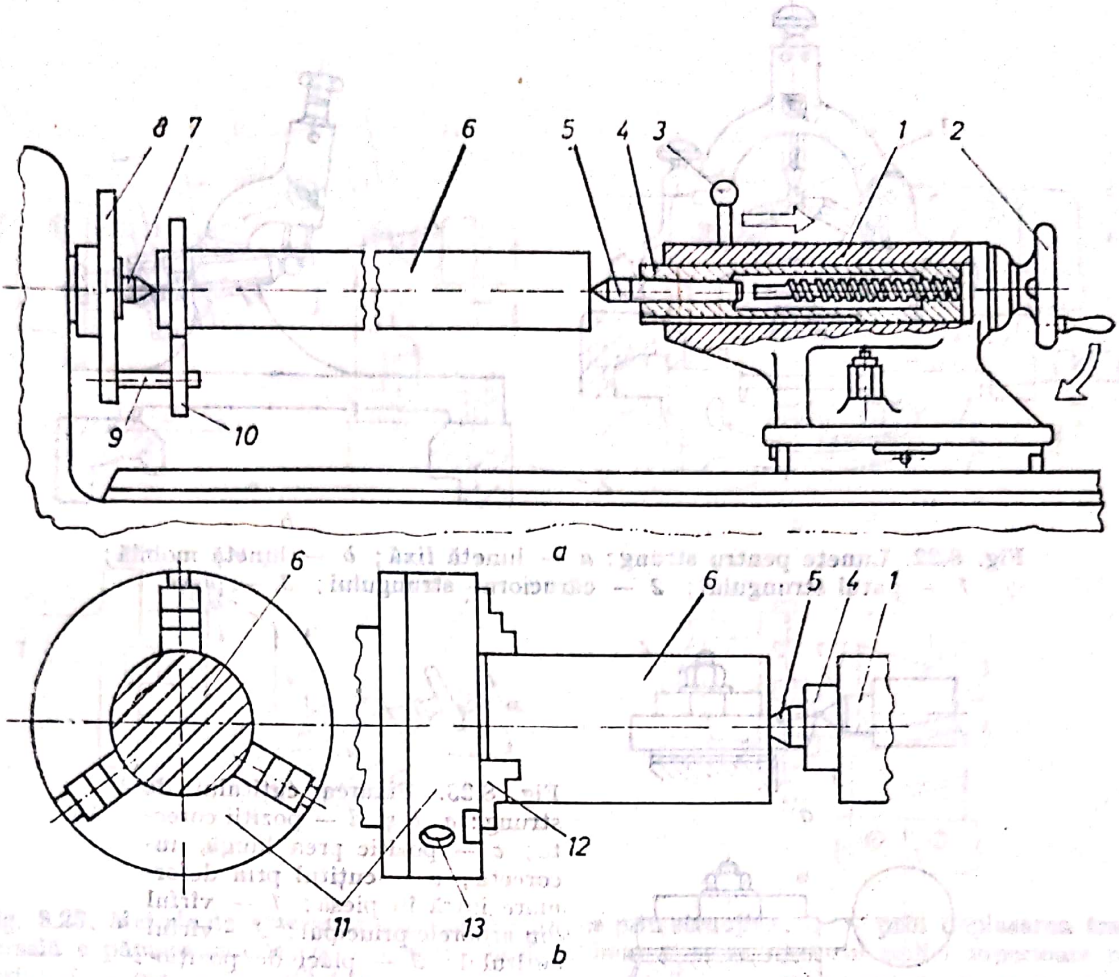


Fig. 8.21. Moduri de fixare a pieselor pe strung: *a* — fixarea între vîrfuri; *b* — fixarea în universal şi vîrful păpuşii mobile; *1* — corpul păpuşii mobile; *2* — roată de manevră a axului filetat al păpuşii mobile; *3* — maneta de blocare a pinolei; *4* — pinolă; *5* — vîrful păpuşii mobile; *6* — piesa; *7* — vîrful păpuşii fixe; *8* — flanşa arborelui principal; *9* — dornul de antrenare; *10* — inimă de antrenare; *11* — universal cu bacuri autocentrante; 12 — bacuri; *13* — dispozitiv pentru acţionarea simultană a bacurilor.

fixe (fig. 8.22, *a*), montate pe patul strungului, sau *mobile* (fig. 8.22, *b*) montate pe cărucior, în dreptul sculei. Numărul de lunete fixe depinde de gradul de sveltețe al piesei L/D.

Cuţitul de strung se prinde în suport cît mai rigid (scurt), într-o poziţie care să asigure cele mai bune condiţii de aşchiere (fig. 8.23).

8.3.1.1.1. *Prelucrarea suprafeţelor cilindrice şi conice pe strung.* Se pot prelucra piese cilindrice tip arbori, simple, sau în trepte (fig. 8.24, *a*, *b*). Cînd prinderea se face între vîrfuri, sau se prelucrează semifabricate turnate sau forjate, piesa se prelucrează în două prinderi, spre deosebire de prelucrarea din bare, cînd piesa se termină într-o singură prindere, iar după terminare se desprinde din bară prin retezare. Suprafeţele cilindrice (de revoluţie) interioare se prelucrează, după prinderea semifabricatului în universal, cu mişcări şi scule potrivite geometriei suprafeţei (fig. 8.18, *c*). Dacă suprafaţa de generat este pe o piesă de formă neregulată sau are o poziţie excentrică, în afară de centrarea suprafeţei de generat pe axa strungului, este nevoie şi de montarea unei contragreutăţi pentru echilibrarea sistemului.

Generarea suprafeţelor conice prin strunjire se poate realiza prin mai multe tehnici: dezaxînd piesa, prin deplasarea transversală a vîrfului păpuşii mobile cu o valoare h, (fig. 8.25, *a*), prin copiere (fig. 8.25, *b*),

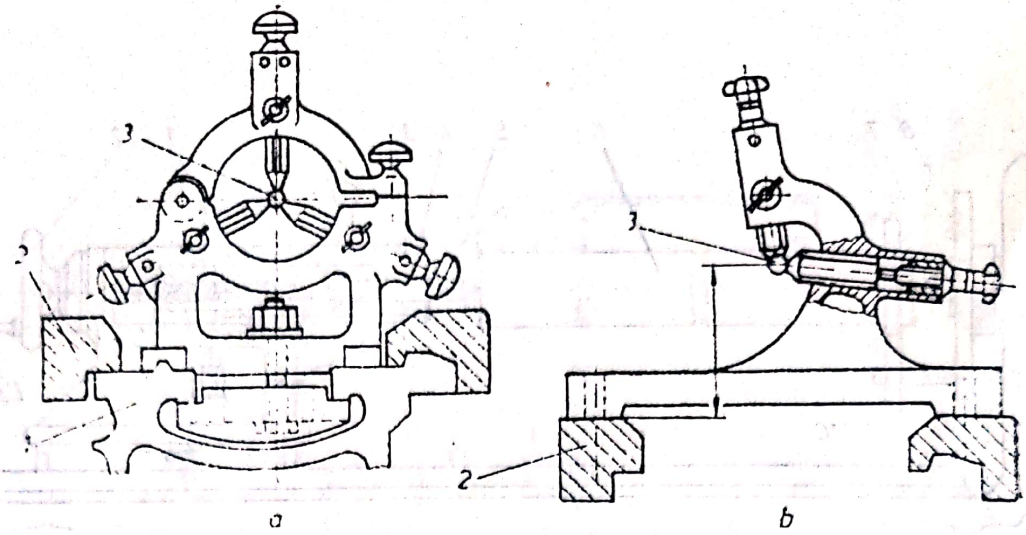


Fig. 8.22. Lunete pentru strung: *a* — lunetă fixă; *b* — lunetă mobilă; *1* — patul strungului; *2* — căruciorul strungului; *3* — piesa.

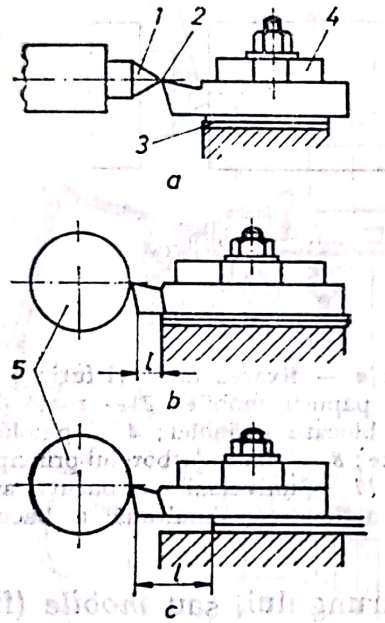
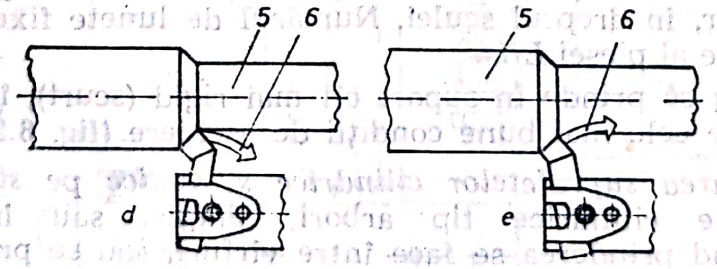


Fig. 8.23. Fixarea cuţitului de strung: *a*, *b* şi *d* — poziţii corecte; *c* — poziţie prea lungă, incorectă; *e* — cuţitul prin deformare intră în piesă; *1* — vîrful din arborele principal; *2* — vîrful cuţitului; *3* — plăci de poziţionare a cuţitului; *4* — placă de strîngere; *5* — piesa; *6* — direcţia de deformare a cuţitului sub acţiunea forţei de avans.



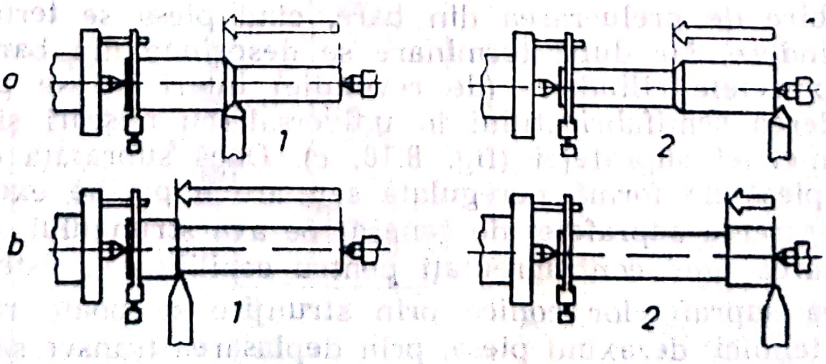


Fig. 8.24. Exemple de prelucrare a pieselor tip arbori între vîrfuri: *a* — arbore simplu; *b* — arbore în două trepte; *1* — prima prindere; *2* — prinderea a doua.

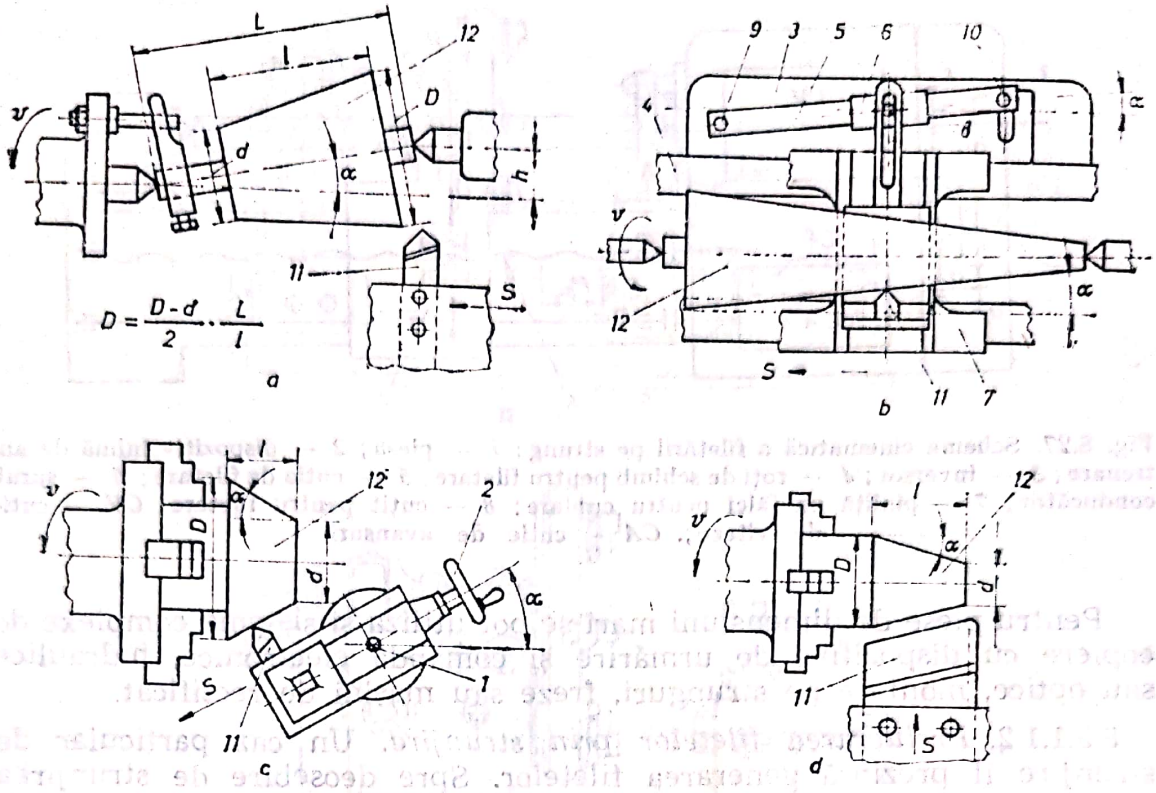


Fig. 8.25. Metode de generare a suprafețelor conice prin strunjire: *a* — prin deplasarea transversală a păpușii mobile; *b* — copiere după șablon; *c* — cu ajutorul saniei superioare port cuțit; *d* — cu cuțit profilat; *1* — sania port cuțit; *2* — maneta pentru avans manual al saniei port cuțit; *3* — placă port șablon; *4* — patul strungului; *5* — șablon; *6* — palpator; *7* — căruciorul strungului; *8* — pîrghia de legătură dintre palpator și sania transversală; *9* — articulație; *10* — șurub de fixare a șablonului; *11* — cuțitul de strung; *12* — piesa.

cu ajutorul saniei port cuțit, prin rotirea sa cu un unghi $\alpha/2$ și avans manual (conuri scurte și cu conicități mari, fig. 8.25, *c*) sau cu ajutorul unui cuțit profilat lat (fig. 8.25, *d*).

Prin utilizarea unor cuțite profilate sau prin copiere după șablon (fig. 8.26, *a*, *b*) se pot genera suprafețe profilate de diferite forme și lungimi (scurte în primul caz, cît lățimea cuțitului).

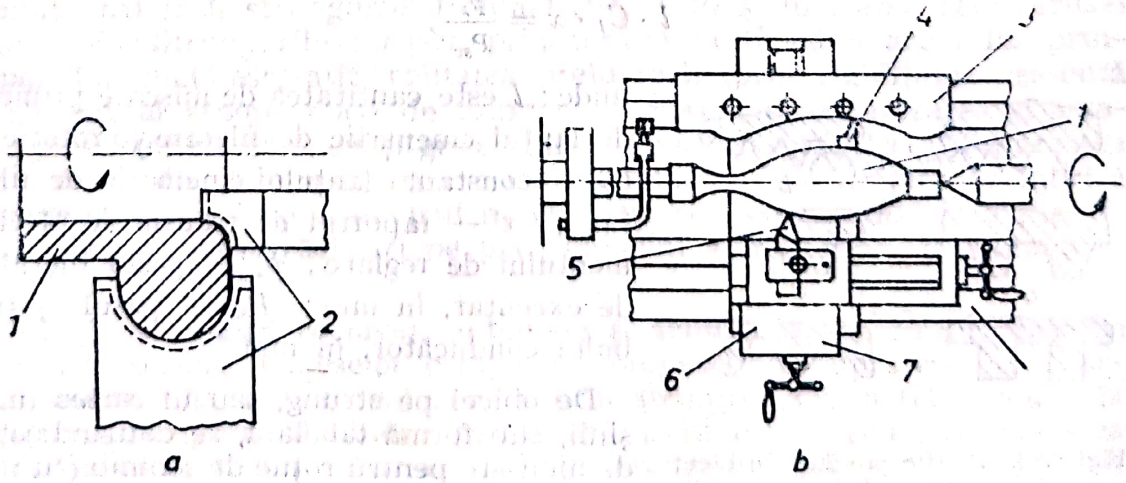


Fig. 8.26. Metode de generare prin strunjire a suprafețelor profilate: *a* — cu cuțit profilat; *b* — prin copiere după șablon; *1* — piesa; *2* — cuțit profilat; *3* — șablon; *4* — palpator; *5* — cuțitul de strung; *6* — sania transversală; *7* — cărucior; *8* — patul strungului.

Scanned with OKEN Scanner

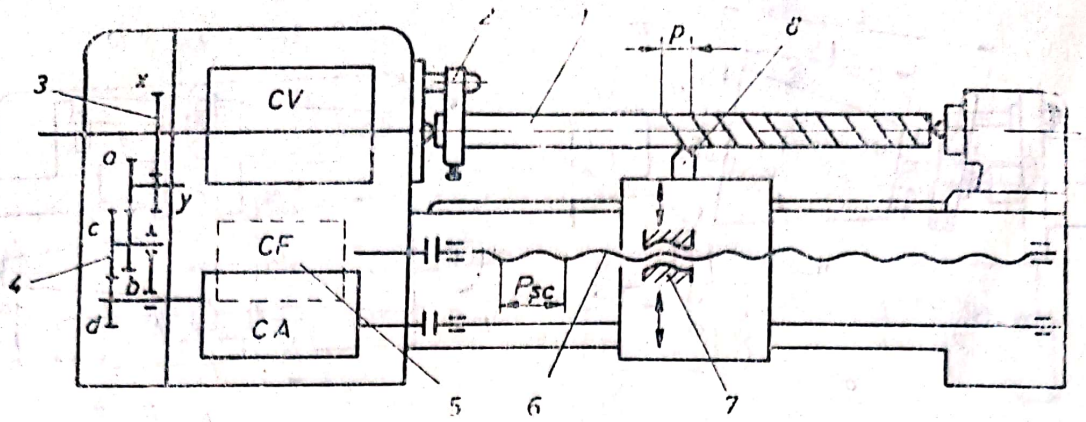


Fig. 8.27. Schema cinematică a filetării pe strung: *1* — piesa; *2* — dispozitiv inimă de antrenare; *3* — inversor; *4* — roți de schimb pentru filetare; *5* — cutia de filetare; *6* — șurub conducător; *7* — piuliță cu fălci pentru cuplare; *8* — cuțit pentru filetare; *CV* — cutie de viteze; *CA* — cutie de avansuri.

Pentru piese de dimensiuni mari se pot utiliza și sisteme complexe de copiere cu dispozitive de urmărire și comandă electronice, hidraulice sau optice, montate pe strunguri, freze sau mașini de rectificat.

8.3.1.1.2. *Prelucrarea filetelor prin strunjire.* Un caz particular de strunjire îl prezintă generarea filetelor. Spre deosebire de strunjirea normală, unde pe unitatea de mișcare a piesei (o rotație) scula execută un avans longitudinal egal cu s mm/rot, în cazul filetării valoarea avansului va trebui să fie egală cu pasul filetului p, realizat cu o precizie ridicată de lungimi mari. Deoarece pasul filetelor este, în general, mult mai mare decît avansurile obișnuite și trebuie să fie realizat cu precizie ridicată, strungurile sînt prevăzute cu lanțuri cinematice proprii și un organ independent de antrenare a căruciorului: șurub conducător — piuliță de cuplare (fig. 8.27). Tipul filetului va fi asigurat de geometria cuțitului (fig. 8.28).

Reglarea strungului pentru generarea unui filet oarecare, caracterizat prin pasul p, se face prin aranjarea lanțului cinematic de filetare în concordanță cu relația:

$$l \cdot C_f \cdot x = \frac{p_x}{P_{sc}},$$

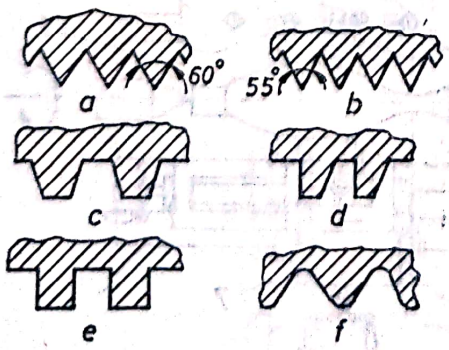


Fig. 8.28. Diferite profiluri de filet: *a* — filet metric; *b* — filet Whitworth; *c* — filet trapezoidal; *d* — filet fierăstrău; *e* — filet pătrat; *f* — filet rotund.

unde: l este cantitatea de mișcare primită de lanțul cinematic de filetare (o rotație); C_f — constanta lanțului cinematic de filetare; x — raportul de transmisie al elementului de reglare; p_x — pasul filetului de executat, în mm; P_{sc} — pasul șurubului conducător, în mm.

De obicei pe strung, sau în cartea mașinii, sub formă tabelară, se dau indicații de montare pentru roțile de schimb (cu raportul $a.c/b.d.=x$) și de poziționare a manetelor cutiei de filetare, pentru prelucrarea unei game mari de filete.

Scanned with OKEN Scanner

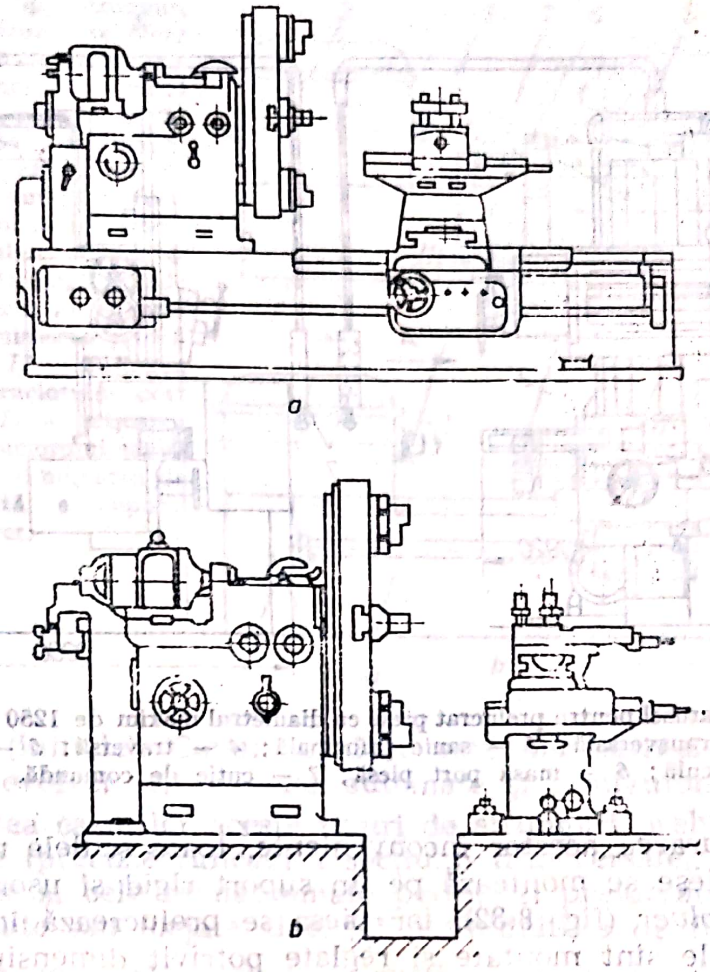


Fig. 8.29. Strunguri frontale: *a* — cu batiu comun; *b* — cu batiu separat.

8.3.1.2. **Strunguri frontale și strunguri carusel.** Pentru prelucrarea prin strunjire a unor piese ale căror raporturi dimensionale D/L, nu conveneau, sau nu se puteau prinde pe strungurile normale (volanți, roți pentru material rulant, elemente de turbine hidraulice etc.), s-au dezvoltat, mai întîi strungurile frontale (fig. 8.29) și mai apoi cele carusel (fig. 8.30). Strungurile carusel, prin poziția verticală a arborelui principal, îmbunătățesc, atît calitatea prelucrării (prin rigiditatea crescută a sistemului arbore, masă de prindere a piesei), cît și așezarea și fixarea piesei (oricît de mare și grea ar fi) pe masa mașinii. De altfel acestea sînt unele din cele mai mari mașini-unelte. La noi în țară se fabrică strunguri carusel cu diametrul mesei (deci și al piesei de prelucrat) de 16 m și se cunosc realizări pe plan mondial avînd mese cu diametrul de 32 m.

8.3.1.3. **Strunguri revolver, automate și semiautomate.** Prelucrarea pe strungul normal a pieselor complexe, compuse din suprafețe care parțial sau în totalitate se pot genera prin strunjire (fig. 8.31) duce fie la creșterea timpului de lucru pe mașină (schimbarea sculelor, reglarea sculelor etc.), fie la scăderea calității produsului (datorită, în special, erorilor de centrare la prinderea pieselor pe mașina-unealtă), atunci cînd s-ar lucra pe linie de strunguri, fiecare strung generînd una sau mai multe suprafețe din totalul de prelucrat.

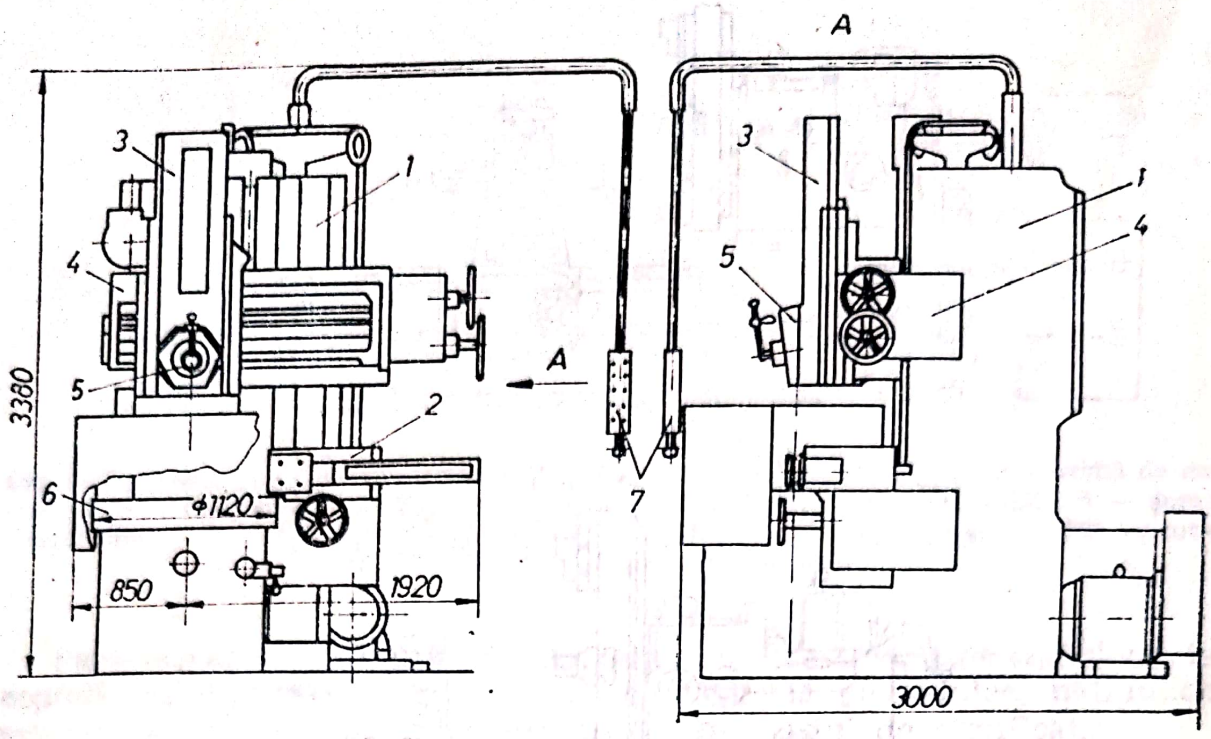


Fig. 8.30. Strung carusel pentru prelucrat piese cu diametrul maxim de 1250 mm: *1* — montant; *2* — sanie transversală; *3* — sanie principală; *4* — traversă; *5* — dispozitiv port sculă; *6* — masă port piesă; *7* — cutie de comandă.

Pentru înlăturarea acestor inconveniente, toate sculele necesare prelucrării unei piese se montează pe un suport rigid și ușor manevrabil, numit *cap revolver* (fig. 8.32), iar piesa se prelucrează într-o singură prindere. Sculele sînt montate și reglate potrivit dimensiunilor piesei. Capul revolver, în construcțiile mai complexe instalat pe căruciorul strungului, cu care execută avansul longitudinal, realizează, în ciclu automat, următoarele: dezasigurare, deblocare, rotire cu $360°/n$ (n fiind numărul locașelor pentru scule), blocare și asigurare. Toate aceste manevre se efectuează în timpul deplasării căruciorului, în apropierea po

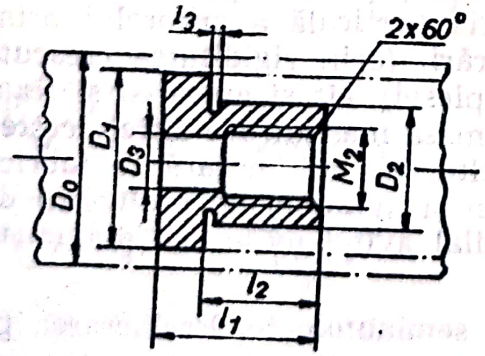


Fig. 8.31. Plan de operații pentru prelucrarea unei piese complexe (tip presetupă) din bară: *1* — strunjire de la D_0 la D_1 pe lungimea l_1; *2* — strunjire de la D_1 la D_2 pe lungimea l_2; *3* — găurire la D_3 pe lungimea l_1; *4* — filetare M_1; *5* — degajare pe lățimea l_3; *6* — teșire la $2 \times 60°$; *7* — retezare din bară.

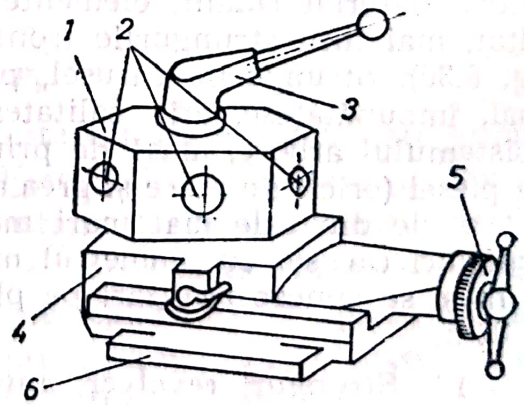


Fig. 8.32. Dispozitiv port sculă cap revolver: *1* — bloc port scule; *2* — locașe pentru fixarea sculelor; *3* — manetă pentru rotirea și fixarea blocului port scule; *4* — sanie port cap revolver; *5* — manetă avans sanie; *6* — cărucior.

Scanned with OKEN Scanner

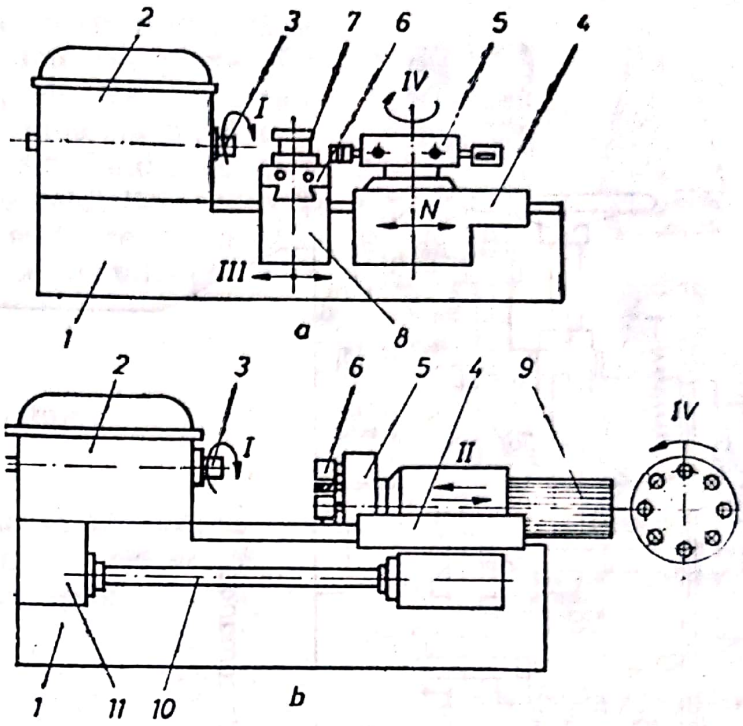


Fig. 8.33. Tipuri de strunguri revolver: *a* — strung revolver cu ax vertical; *b* — strung revolver cu ax orizontal: *1* — patul strungului; *2* — păpuşa fixă; *3* — material de prelucrat; *4* — cărucior; *5* — cap revolver; *6* — scule; *7* — sanie transversală; *8* — căruciorul saniei transversale; *9* — tambur cu limitatori pentru avansul longitudinal; *10* — ax de tragere; *11* — cutia de avans; *I* — mişcarea principală de aşchiere; *II* — mişcarea longitudinală a căruciorului port cap revolver; *III* — mişcarea longitudinală a căruciorului saniei transversale; *IV* — mişcarea de rotire intermitentă a capului revolver.

ziţiei retrase (iniţiale). Capul revolver este dispozitivul comun, atît strungurilor revolver, cît şi celor automate şi semiautomate.

În majoritatea cazurilor aceste tipuri de strunguri prelucrează piesele din bare trase (precizie ridicată a secţiunii transversale). Numai strungurile revolver şi cele semiautomate permit şi prelucrarea unor semifabricate turnate sau forjate, datorită posibilităţilor de fixare manuală.

8.3.1.3.1. *Strunguri revolver.* Constructiv, strungurile revolver pot să fie cu axul capului revolver orizontal sau vertical (fig. 8.33. *a*, *b*), cele verticale fiind destinate, mai ales, semifabricatelor de dimensiuni mari. Pe strungurile revolver se pot efectua o multitudine de prelucrări, cum ar fi: strunjiri exterioare şi interioare, găuriri, strunjiri profilate, filetări, retezări etc. În afară de alimentare, la strungurile revolver normale, schimbarea turaţiilor şi a avansurilor se face tot manual. În toate cazurile trebuie întocmit un proces tehnologic şi un plan de montare a sculelor.

8.3.1.3.2. *Strunguri automate.* Strungurile automate realizează prelucrarea pieselor după cicluri închise, repetabile, după următoarea schemă: alimentare, dozare, fixare, prelucrare cu n scule ale capului revolver şi eventual şi cu altele (fixate pe dispozitive suplimentare), retezare, defixare. Acest ciclu se repetă, fie pînă la epuizarea barei, fie pînă la oprire accidentală sau voită.

Strungurile automate s-au dezvoltat în foarte multe variante constructive: cu unul sau mai mulţi arbori principali, în poziţie orizontală sau verticală, cu camă singulară sau multiplă etc.

Un tip reprezentativ este strungul automat monoax cu camă multiplă şi ax de comandă ajutător, fabricat şi la noi în ţară în mai multe tipodimensiuni, denumit SARO (fig. 8.34).

În afară de dispozitivul port sculă (cap revolver), strungul dispune şi de sănii port sculă suplimentare pentru operaţii care necesită avans transversal (strunjiri profilate, randalinări, retezări etc.) Sînt strun-

Scanned with OKEN Scanner

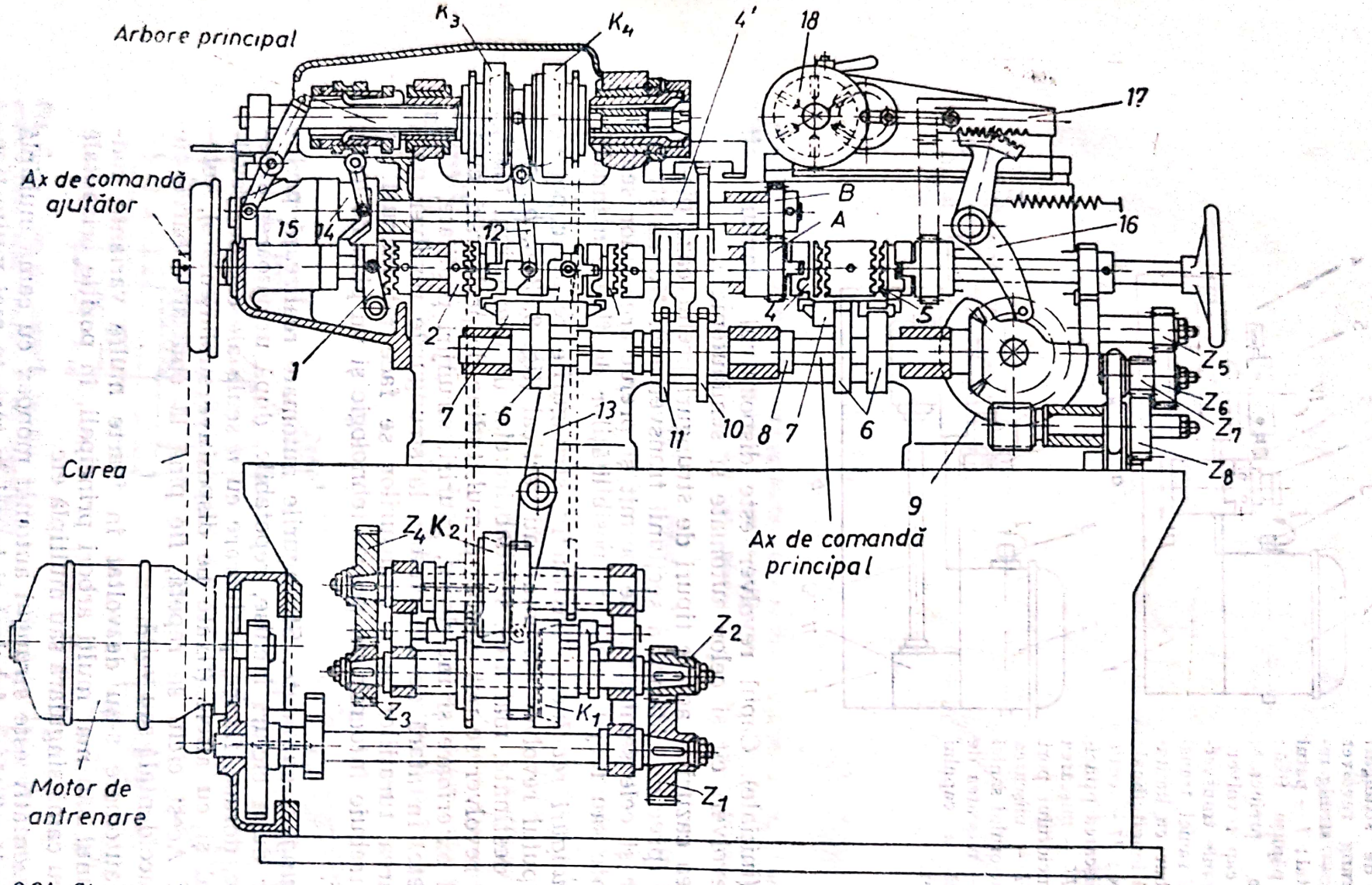


Fig. 8.34. Strung automat monoax tip SARO: *1* — manetă de cuplare; *2* şi *3* — cuple de comandă care acţionează pîrghiile *12* şi *13* pentru schimbarea sensului de rotaţie a arborelui principal; *4* — cuplă pentru acţionarea camelor *14* şi *15* (de fixare şi dozare) prin roţile *A*, *B* şi arborele *4*; *5* — cuplă pentru acţionarea dispozitivului de rotire a capului revolver; *6* — discuri gradate de comandă a cuplelor *2*, *3*, *4* şi *5*; *7* — palpator; *8* — ax de comandă principal; *9* — cama mişcărilor capului revolver; *10* şi *11* — came pentru acţionarea săniilor laterale; *12* şi *13* — pîrghii; *14* şi *15* — came de fixare a barei şi dozare; *16* — pîrghie de comandă a schimbării capului revolver; *17* — sania capului revolver; *18* — capul revolver; K_1, K_2, K_3 şi K_4 — cuplele cutiei de viteze şi a schimbării sensului de rotaţie a axului principal; $z_1 \dots z_4$ — roţi de schimb pentru cutia de viteze; $z_5 \dots z_8$ — roţi de schimb pentru axul de comandă principal.

Scanned with OKEN Scanner

guri de mare productivitate, permiţînd obţinerea unor piese de forme foarte complexe (fig. 8.35). În concepţia actuală, ele trebuie considerate ca maşini-unelte cu comandă după program, purtătoarele de program fiind mecanice, respectiv camele. Alături de celelalte manevre, şi alimentarea, vitezele de aşchiere, avansurile necesare fiecărei operaţii, se instalează automat.

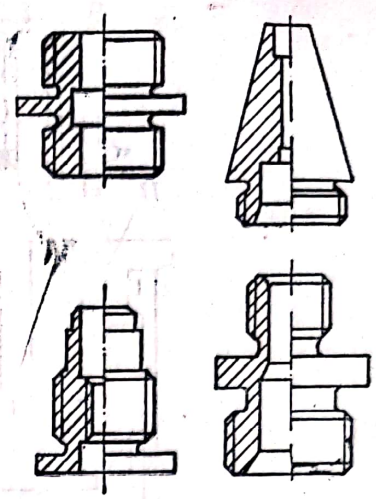


Fig. 8.35. Exemple de piese prelucrate pe strungul automat.

8.3.2. Prelucrarea prin rabotare. Maşini de rabotat

Prin rabotare, folosind scule simple, asemănătoare cuţitelor de strung, se generează suprafeţe plane, simple sau complexe, la care în sensul mişcării principale, trebuie să aibă o formă rectilinie. Procesul de aşchiere este discontinuu, deoarece după fiecare trecere a sculei peste suprafaţa de aşchiat, scula şi piesa trebuie să revină în poziţie iniţială. În acest moment se produce şi avansul, perpendicular pe direcţia mişcării principale. Din punct de vedere al elementelor care execută aceste mişcări sînt două posibilităţi: scula efectuează mişcarea principală şi piesa mişcarea de avans şi invers, caracterizînd şi tipurile de maşini de rabotat: maşini de rabotat transversal (în primul caz) şi maşini de rabotat longitudinal (în cel de al doilea caz, fig. 8.36, *a*, *b*).

Avînd mişcări de revenire în gol, timpul de lucru pe maşină t_m deşi este mult mai mare decît timpul de aşchiere t_a: $t_m \gg t_a$, productivitatea, exprimată prin volumul sau greutatea de aşchiere ridicată în unitatea de timp, rezultă relativ mică. Pentru îmbunătăţirea productivităţii, maşinile de rabotat de toate tipurile sînt prevăzute cu mecanisme de antrenare care realizează în timpul mişcării în gol viteze mult mai mari decît

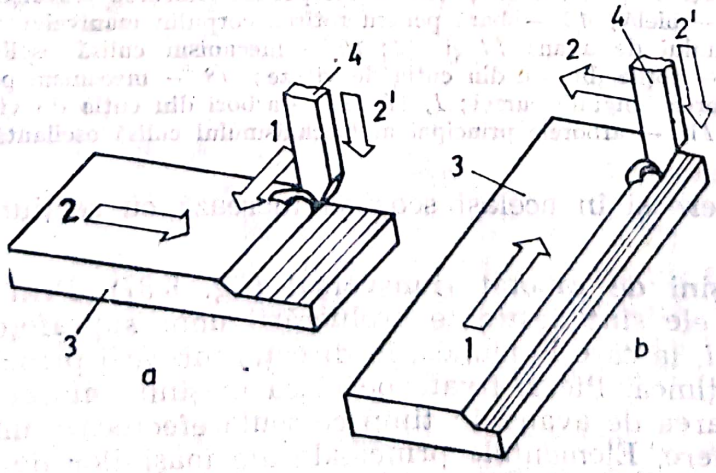


Fig. 8.36. Mişcările de bază la prelucrare prin rabotare: *a* — maşina de rabotat transversal; *b* — maşini de rabotat longitudinal; *1* — mişcarea principală de aşchiere; *2* — avans transversal; *2'* — avans vertical de instalare; *3* — piesa; *4* — cuţitul.

Scanned with OKEN Scanner

guri de mare productivitate, permiţînd obţinerea unor piese de forme foarte complexe (fig. 8.35). În concepţia actuală, ele trebuie considerate ca maşini-unelte cu comandă după program, purtătoarele de program fiind mecanice, respectiv camele. Alături de celelalte manevre, şi alimentarea, vitezele de aşchiere, avansurile necesare fiecărei operaţii, se instalează automat.

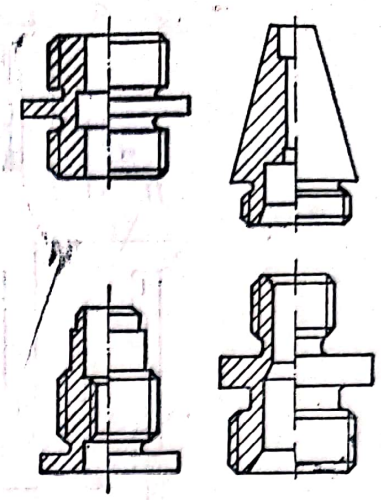


Fig. 8.35. Exemple de piese prelucrate pe strungul automat.

8.3.2. Prelucrarea prin rabotare. Maşini de rabotat

Prin rabotare, folosind scule simple, asemănătoare cuţitelor de strung, se generează suprafeţe plane, simple sau complexe, la care în sensul mişcării principale, trebuie să aibă o formă rectilinie. Procesul de aşchiere este discontinuu, deoarece după fiecare trecere a sculei peste suprafaţa de aşchiat, scula şi piesa trebuie să revină în poziţie iniţială. În acest moment se produce şi avansul, perpendicular pe direcţia mişcării principale. Din punct de vedere al elementelor care execută aceste mişcări sînt două posibilităţi: scula efectuează mişcarea principală şi piesa mişcarea de avans şi invers, caracterizînd şi tipurile de maşini de rabotat: maşini de rabotat transversal (în primul caz) şi maşini de rabotat longitudinal (în cel de al doilea caz, fig. 8.36, *a*, *b*).

Avînd mişcări de revenire în gol, timpul de lucru pe maşină t_m deşi este mult mai mare decît timpul de aşchiere t_a: $t_m \gg t_a$, productivitatea, exprimată prin volumul sau greutatea de aşchiere ridicată în unitatea de timp, rezultă relativ mică. Pentru îmbunătăţirea productivităţii, maşinile de rabotat de toate tipurile sînt prevăzute cu mecanisme de antrenare care realizează în timpul mişcării în gol viteze mult mai mari decît

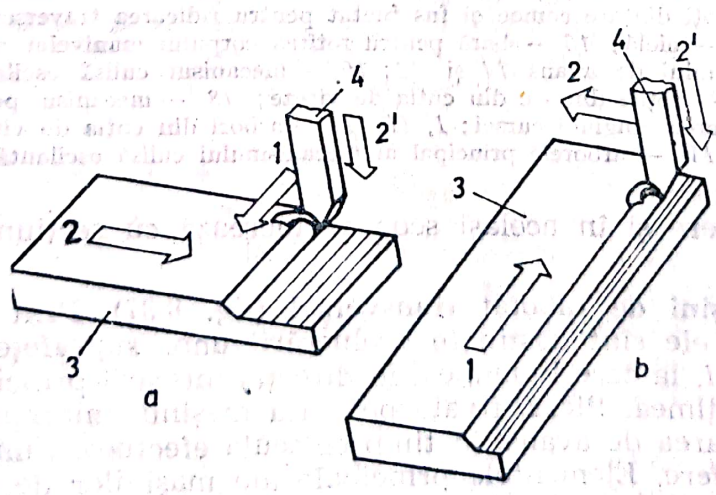


Fig. 8.36. Mişcările de bază la prelucrare prin rabotare: *a* — maşina de rabotat transversal; *b* — maşini de rabotat longitudinal; *1* — mişcarea principală de aşchiere; *2* — avans transversal; *2'* — avans vertical de instalare; *3* — piesa; *4* — cuţitul.

Scanned with OKEN Scanner

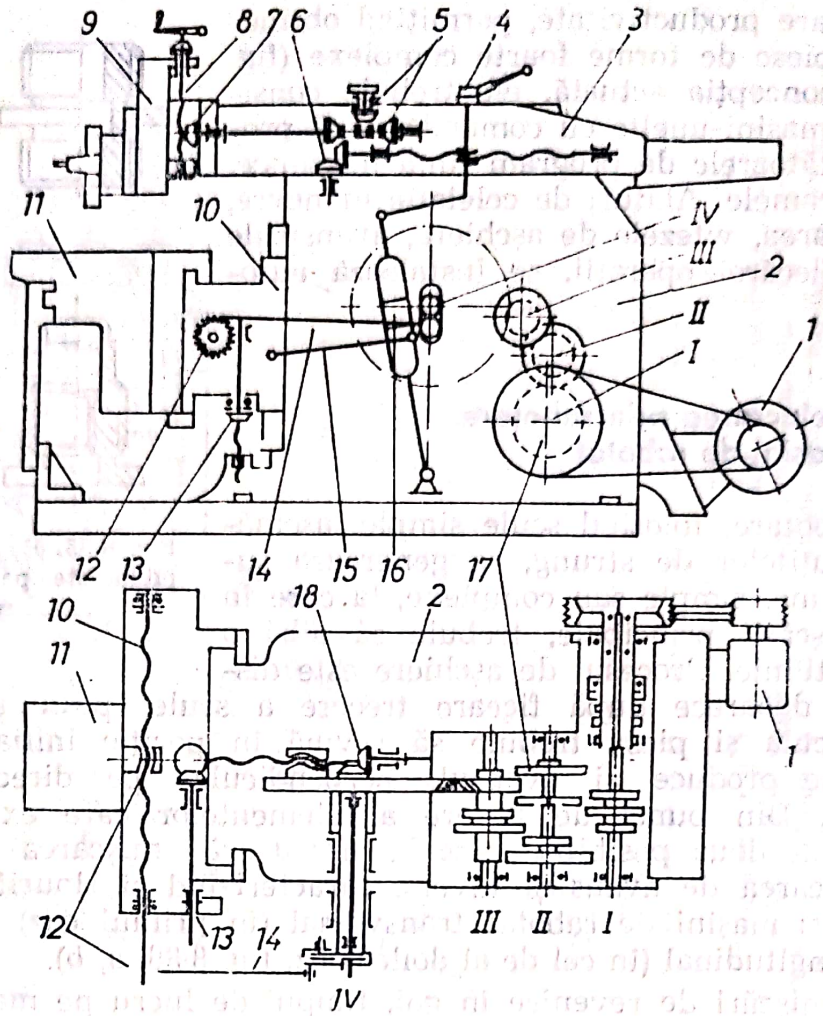


Fig. 8.37. Maşină de rabotat transversal: *1* — motor electric; *2* — batiul maşinii; *3* — sania port sculă; *4* — manetă de blocare după reglarea poziţiei cursei; *5* — mecanism cu clichet pentru avans prin capul port sculă; *6* — mecanism pentru reglarea poziţiei cursei; *7* — roţi dinţate conice; *8* — fus filetat; *9* — capul port sculă; *10* — traversă; *11* — masa; *12* — mecanism cu clichet şi fus filetat pentru avansul mesei; *13* — mecanism cu roţi dinţate conice şi fus filetat pentru ridicarea traversei *10*; *14* — bielă; *15* — bară pentru rotirea corpului manivelei mecanismului de avans *14* şi *12*; *16* — mecanism culisă oscilantă; *17* — roţile dinţate din cutia de viteze; *18* — mecanism pentru reglarea lungimii cursei; *I, II, III* — arbori din cutia de viteză; *IV* — arborele principal al mecanismului culisă oscilantă.

cele de aşchiere şi în acelaşi scop se lucrează cu secţiuni mari de aşchiere.

8.3.2.1. **Maşini de rabotat transversal** (fig. 8.37). Prin structura lor, puţin rigidă, ele sînt destinate prelucrării unor suprafeţe plane de dimensiuni mici, la care lungimea, în direcţia mişcării principale, este mai mică decît lăţimea. Piesa, fixată pe masa maşinii, împreună cu aceasta, execută mişcarea de avans, în timp ce scula efectuează mişcarea principală de aşchiere. Elementele principale ale maşinilor de rabotat transversal sînt: batiul, sania, dispozitivul port sculă, traversa, masa, mecanismul de antrenare şi mecanismul de avans.

Datorită prinderii mesei şi traversei pe batiu, în consolă, sistemul nu este suficient de rigid, putîndu-se deforma în timpul prelucrării, cu

Scanned with OKEN Scanner

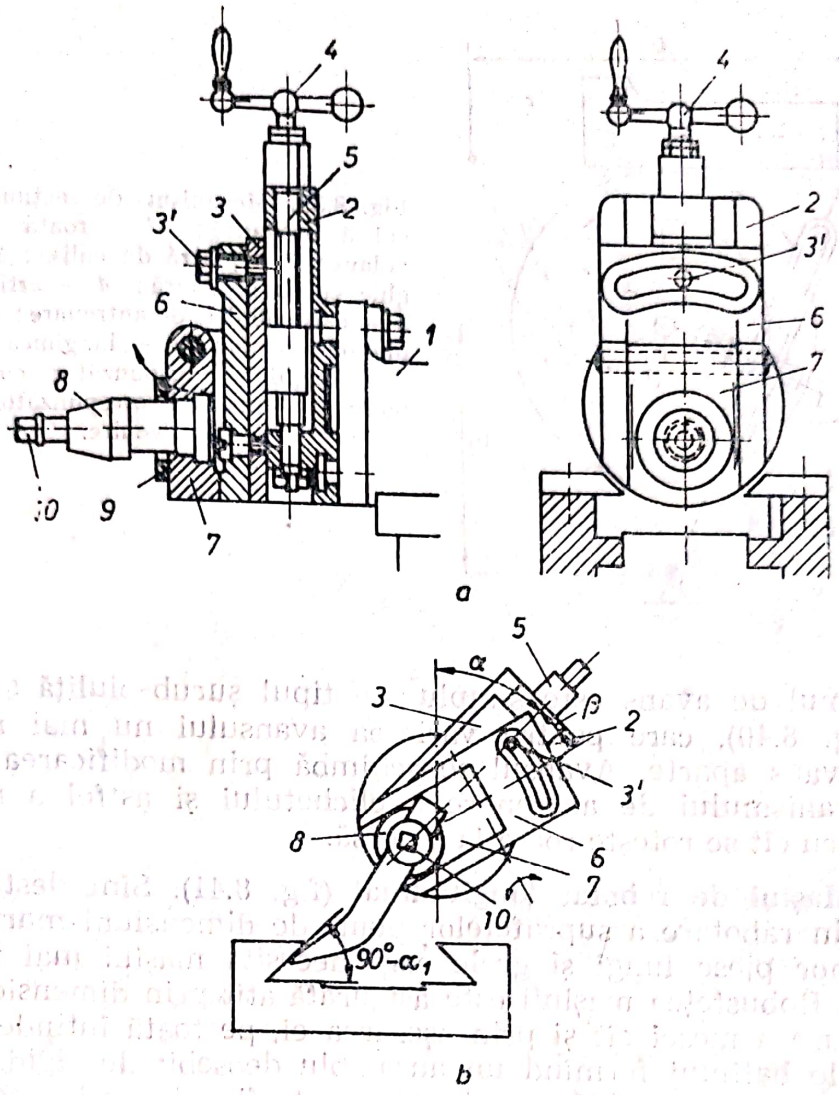


Fig. 8.38. Dispozitivul port sculă al mașinii de rabotat transversal: *a* **— dispozitiv port sculă;** *b* **— exemplu de reglare și instalare corectă a dispozitivului port sculă pentru așchierea unei suprafețe oblice;** *1* **— sania port sculă;** *2* **— placă intermediară cu piuliță și gaură filetată pentru șurubul de fixare** *3'*; *4* **— manivela fusului filetat** *5*; *5* **— fus filetat;** *6* **— placă rotitoare;** *7* **— placă oscilantă;** *8* **— suport sculă;** *9* **— rondelă;** *10* **— șurub de fixat scula.**

influențe negative asupra calității piesei. În cazul prelucrărilor mai grele, cu pretenții mai mari asupra calității, masa se va sprijini suplimentar pe batiu, totul formînd un cadru închis (fig. 8.37).

Dispozitivul port sculă (fig. 8.38) este astfel construit încît să permită așezarea corectă a sculei în raport cu suprafața așchiată, să asigure ridicarea sculei de pe suprafața prelucrată în timpul cursei în gol și să asigure un avans manual de mică anvergură, care poate fi realizat și cu un mecanism cu clichet.

Mecanismul de antrenare este compus din motorul de antrenare, cutia de viteze și mecanismul de acționare a saniei. *Mecanismul* de acționare cel mai obișnuit este *cu culisă oscilantă* (fig. 8.39), care permite, pe lîngă o reversare ușoară a mișcării principale, fără schimbarea sensului de rotație a motorului, și o diferențiere a vitezelor în cele două direcții de mișcare și reglarea lungimii cursei prin varierea razei R.

Scanned with OKEN Scanner

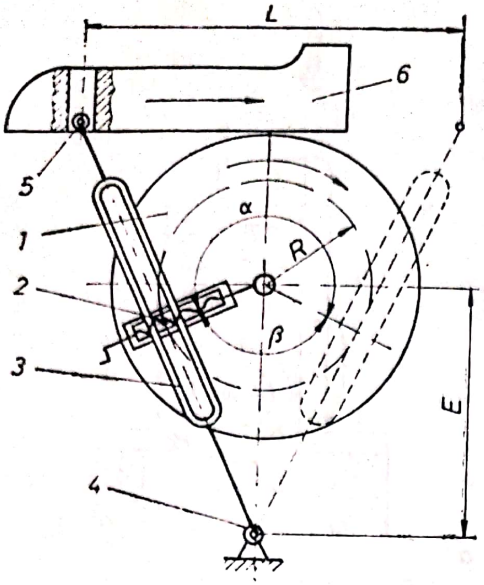


Fig. 8.39. Mecanism de acționare cu culisă oscilantă: *1* — roată dințată volant; *2* — piatră de culisă; *3* — pîrghie culisă oscilantă; *4* — articulație; *5* — cap cilindric de antrenare; *6* — sanie port sculă; *l* — lungimea cursei; α — unghiul corespunzător cursei de lucru; β — unghiul corespunzător cursei de revenire.

Mecanismul de avans este simplu, de tipul șurub-piuliță și roată cu clichet (fig. 8.40), care pentru varierea avansului nu mai necesită o cutie de avans aparte. Avansul se schimbă prin modificarea excentricității mecanismului de antrenare a clichetului și astfel a numărului de dinți z_1 cu cît se rotește roata la o cursă.

8.3.2.2. **Mașini de rabotat longitudinal** (fig. 8.41). Sînt destinate prelucrării prin rabotare a suprafețelor plane de dimensiuni mari deci implicit a unor piese lungi și grele care necesită mașini mai robuste și mai rigide. Robustețea mașinii este asigurată atît prin dimensionarea corespunzătoare a mesei cît și prin așezarea ei, pe toată întinderea direct pe ghidajele batiului formînd un ansamblu deosebit de rigid. Mișcarea principală este executată de masă, care poate fi antrenată mecanic (cremalieră — roată dințată) sau hidraulic (cilindru — piston). Pentru reversarea de la capetele de cursă se folosesc dispozitive adecvate, electrice în cazul antrenării mecanice și sertărașe în cazul antrenării hidraulice. Sistemul electric utilizat este de tipul Ward-Leonard care asigură o frecvență de reversare mare, cu recuperarea energiei de frînare și nu transmite șocuri electrice la reversare în rețeaua de alimentare, asigurînd, în același timp, și o variație continuă a turațiilor în limite largi.

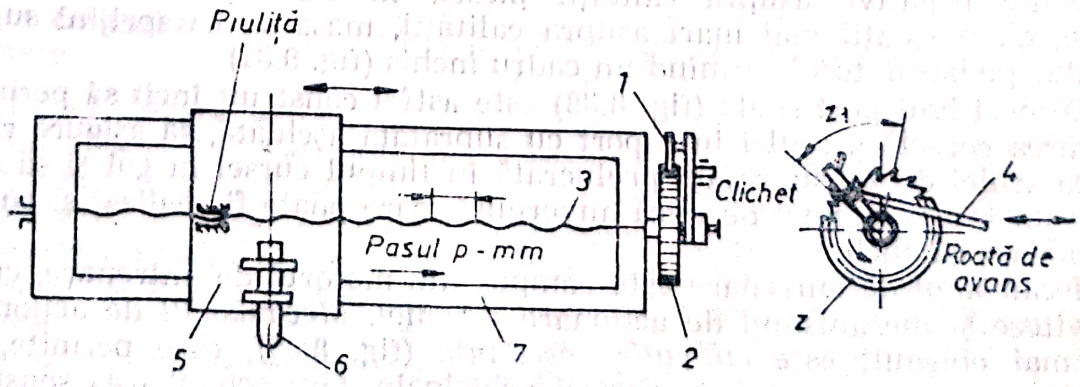


Fig. 8.40. Mecanism de avans cu clichet și fus filetat-piuliță: *1* — pîrghie oscilantă cu clichet; *2* — roată dințată; *3* — fus filetat; *4* — bielă de acționare; *5* — sanie port sculă; *6* — sculă; *7* — ghidajul saniei port sculă.

Scanned with OKEN Scanner

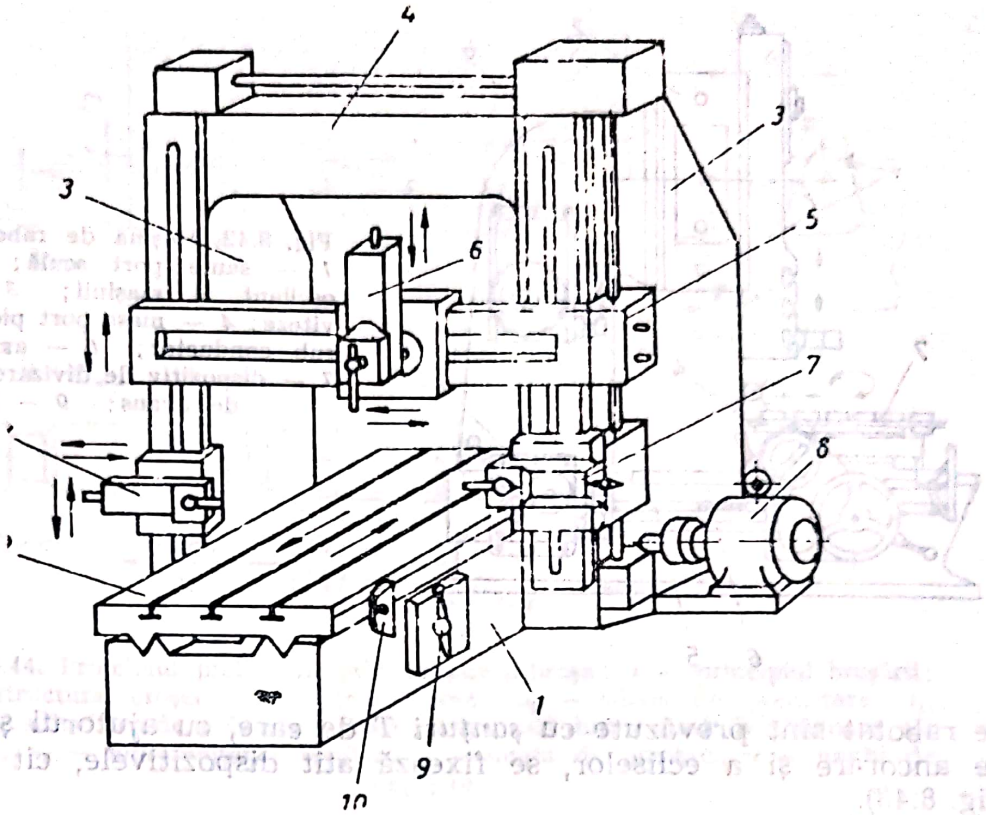


Fig. 8.41. Maşina de rabotat longitudinal: *1* — batiu; *2* — masă port piesă; *3* — montant; *4* — traversă fixă; *5* — traversă mobilă; *6* — sanie port sculă principală; *7* — sanie port sculă laterală; *8* — motor de antrenare; *9* — pîrghie de reversare; *10* — ciocnitor pentru reglarea lungimii cursei mesei.

Mecanismele de avans sînt de tipul şurub-piuliţă şi roată cu clichet. Dispozitivul port sculă, de o structură asemănătoare cu cel de la maşinile de rabotat transversal, execută mişcările de avans. Se pot instala mai multe dispozitive port sculă la o maşină de rabotat longitudinal, fiecare putînd lucra independent. Prin aceasta nu se ridică numai productivitatea, ci se pot genera deodată, în aceeaşi prindere, mai multe suprafeţe, legate între ele, în raporturi poziţionale bine definite, (batiuri de maşini-unelte, blocuri motor etc.).

8.3.2.3. **Maşini de rabotat vertical** (fig. 8.42). Mişcarea principală, de întindere mică, se desfăşoară în plan vertical. Maşina de rabotat vertical (morteza) este destinată pentru prelucrarea suprafeţelor plane, interioare sau exterioare, de mici dimensiuni cum ar fi: locaşe de pană în butucul roţilor, alezaje poligonale, danturări etc. Structura mortezelor, în ce priveşte mecanismul de antrenare, este asemănătoare cu a maşinilor de rabotat transversal. Masa este, însă mai complexă, se poate deplasa şi roti în plan orizontal, rotire comandată de un dispozitiv de divizare cu cap divizor, fiind necesară unor prelucrări, unde avem de făcut şi împărţiri în părţi egale (roţi dinţate, alezaje cu mai multe canale de pană etc.).

Prinderea pieselor pe masa maşinilor de rabotat trebuie să fie sigură, deoarece forţele de aşchiere sînt mari şi în afară de smulgerea piesei, au şi o tendinţă de răsucire. Prinderea se face în dispozitive pentru piese mici, şi direct pe masa maşinii în cazul pieselor mari. Mesele maşinilor

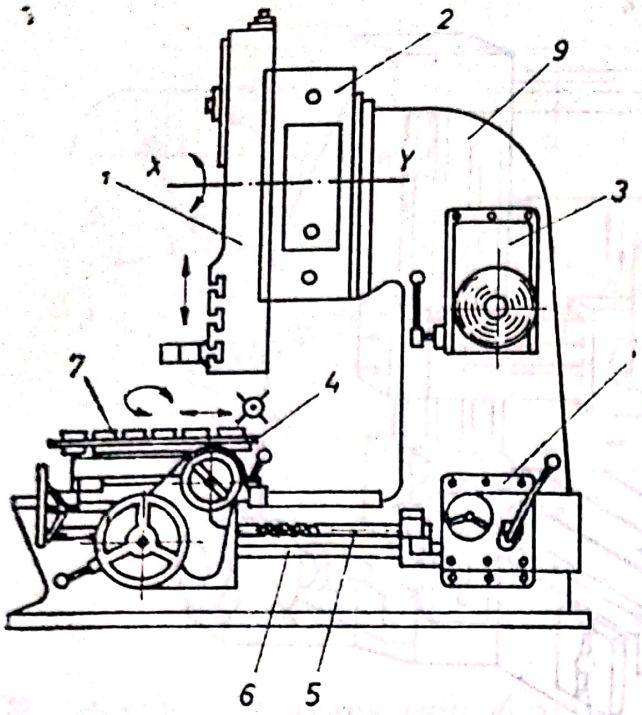


Fig. 8.42. Maşina de rabotat vertical: *1* — sanie port sculă; *2* — capul oscilant al maşinii; *3* — cutie de viteze; *4* — masa port piesă; *5* — şurub conductor; *6* — ax de tragere; *7* — dispozitiv de divizare; *8* — cutie de avans; *9* — batiu.

de rabotat sînt prevăzute cu *şanţuri T* de care, cu ajutorul şuruburilor de ancorare şi a ecliselor, se fixează atît dispozitivele, cît şi piesele (fig. 8.43).

8.3.2.4. **Prelucrarea prin broşare.** Prelucrarea prin broşare este o variantă a prelucrării prin rabotare, înlocuind în special prelucrările efectuate pe maşini de rabotat vertical, dar numai în cazul seriilor mari de fabricaţie.

Scula (broşa) este de formă complexă, cu mai multe muchii tăietoare care sînt aşezate succesiv pe un suport comun. Prin supraînălţarea fie-

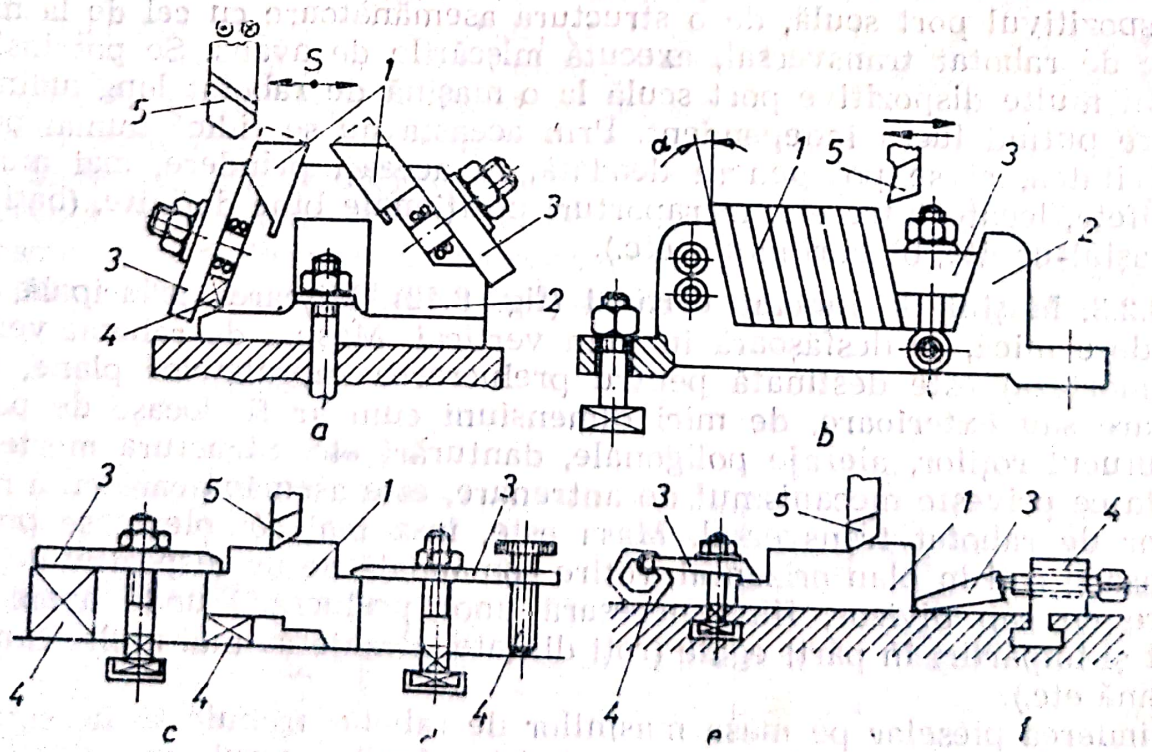


Fig. 8.43. Sisteme de fixare a pieselor pe masa maşinilor de rabotat: *a* şi *b* — dispozitiv tip menghină; *c*, *d*, *e* şi *f* — fixare pe masă fără dispozitiv; *1* — piesa; *2* — corpul menghinei; *3* — eclisă; *4* — cală; *5* — cuţit.

Scanned with OKEN Scanner

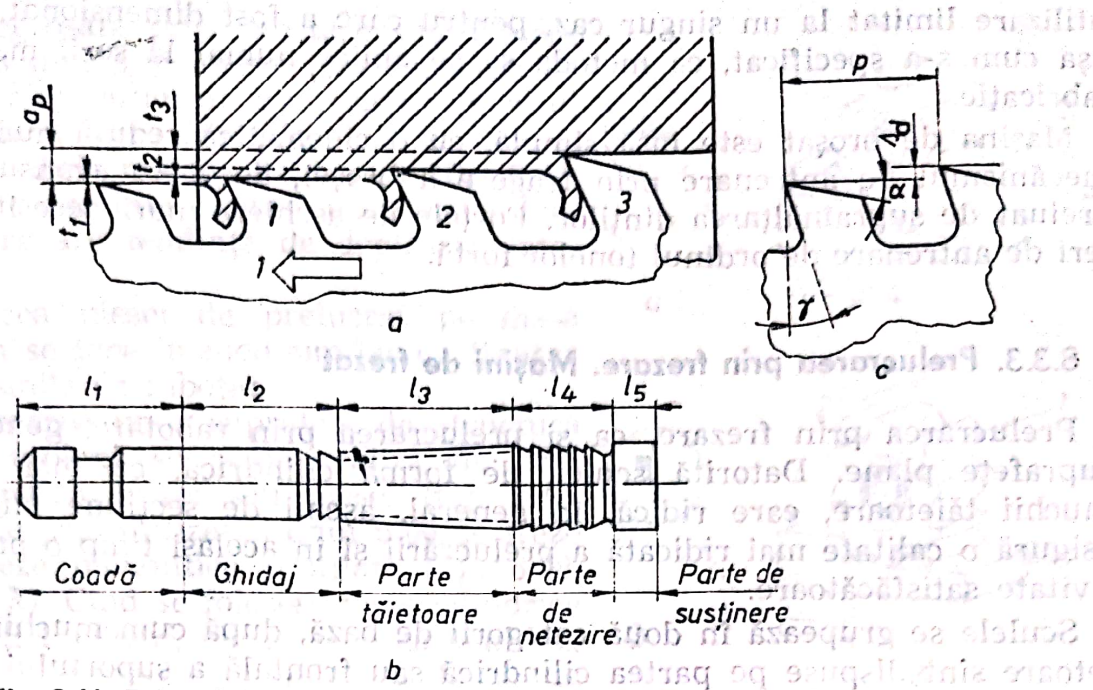


Fig. 8.44. Principiul prelucrării prin broşare şi broşa: *a* — principiul broşării; *b* — structura broşei; *c* — detaliu broşă; a_p — adaos de prelucrare; t_1, t_2, t_3 — adîncimea de aşchiere pe dinte; p — pasul dintre muchiile tăietoare ale broşei; s_d — supraînălţarea dinţilor; α — unghi de aşezare; γ — unghi de degajare.

cărei muchii tăietoare cu s_d întregul adaos de prelucrare se înlătură într-o singură cursă a sculei (fig. 8.44).

Se pot astfel prelucra suprafeţe simple sau de mare complexitate, interioare sau exterioare, plecînd de la forme simple (de ex. cilindrice pentru cele interioare, fig. 8.45). Costul ridicat al sculei, domeniul de

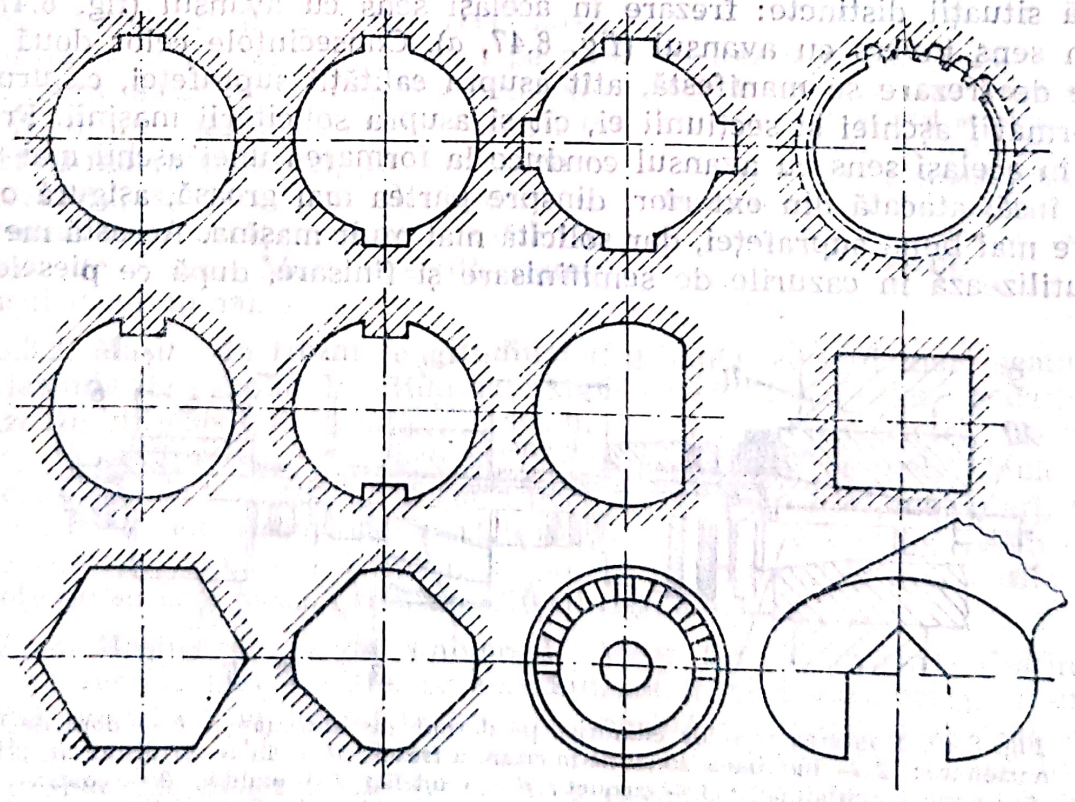


Fig. 8.45. Exemple de suprafeţe prelucrate prin broşare.

Scanned with OKEN Scanner

utilizare limitat la un singur caz, pentru care a fost dimensionat, face, așa cum s-a specificat, ca metoda să se aplice numai la serii mari de fabricație.

Mașina de broșat este însă simplă, cu o cinematică redusă numai la mecanismul de antrenare prin tragere a broșei, deoarece avansul este preluat de suprainălțarea dinților. Forțele de așchiere mari necesită puteri de antrenare de ordinul tonelor forță.

8.3.3. Prelucrarea prin frezare. Mașini de frezat

Prelucrarea prin frezare, ca și prelucrarea prin rabotare, generează suprafețe plane. Datorită sculei, de formă cilindrică, cu mai multe muchii tăietoare, care ridică, în general, așchii de secțiune mică, se asigură o calitate mai ridicată a prelucrării și în același timp o productivitate satisfăcătoare.

Sculele se grupează în două categorii de bază, după cum muchiile tăietoare sînt dispuse pe partea cilindrică sau frontală a suportului cilindric, avînd astfel freze cilindrice și freze frontale. Frezele cilindrice sînt prevăzute cu un alezaj și locaș de pană, și se montează pe un dorn de antrenare (fig. 8.46), iar cele frontale sînt prevăzute cu o coadă terminată conic, cu care se fixează direct în alezajul conic al arborelui principal al mașinilor de frezat, acolo unde se fixează și dornurile port freze cilindrice, a căror capăt este tot conic.

Mișcarea principală (de rotație) este executată totdeauna de freză, iar cea de avans (liniară) o execută piesa. Din punct de vedere al raporturilor de sens între cele două mișcări, avem pentru freze cilindrice două situații distincte: frezare în același sens cu avansul (fig. 8.47, *b*) și în sens invers cu avansul (fig. 8.47, *a*). Consecințele celor două metode de frezare se manifestă, atît asupra calității suprafeței, ca urmare a formării așchiei și secțiunii ei, cît și asupra solicitării mașinii. Frezarea în același sens cu avansul conduce la formarea unei așchii mai subțiri, însă, atacată din exterior, dinspre partea mai groasă, asigură o calitate mai bună suprafeței, dar solicită mai mult mașina. Această metodă se utilizează în cazurile de semifinisare și finisare, după ce piesele au

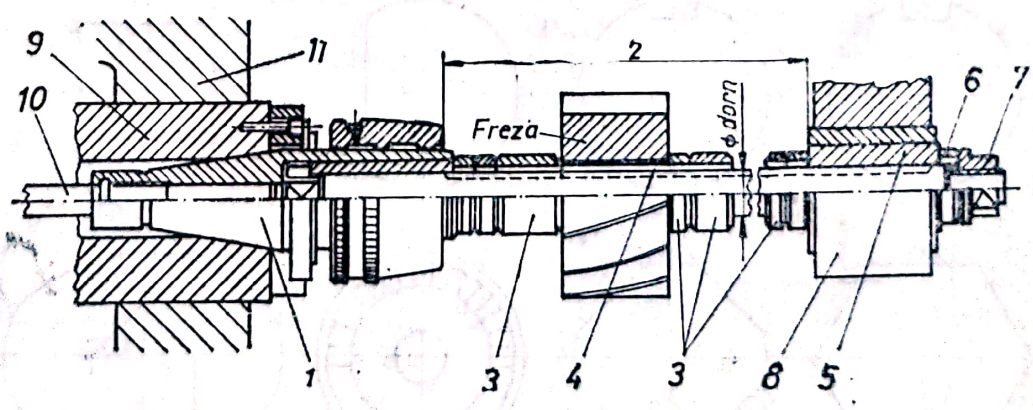


Fig. 8.46. Montarea frezelor cilindrice pe dornul de antrenare: *1* — dorn de antrenare; *2* — lungimea zonei de montare a frezei; *3* — inele de distanțare; *4* — pană longitudinală; *5* — cuzinet; *6* — rondelă; *7* — piuliță; *8* — contralagăr; *9* — arbore principal; *10* — tijă; *11* — lagăr în batiu.

Scanned with OKEN Scanner

fost degroşate prin rabotare sau frezare în sens invers şi atunci cînd maşinile de frezat sînt suficient de rigide. În cazul frezării cu freze frontale, apar în acelaşi timp, ambele metode de frezare (fig. 8.47, *c*), cu consecinţe asupra traiectoriei frezei, care are tendinţă de deplasare laterală.

Fixarea piesei de prelucrat pe masa maşinii se face în mod similar cu fixarea pe maşinile de rabotat.

Generarea unor suprafeţe de structură mai complexă se poate realiza fie prin poziţionarea frezei sau piesei (fig. 8.48, *f*, *g*), fie prin utilizarea unui bloc de freze sau freze monolitice profilate (fig. 8.48, *h*, *i*, *j*, *k*). Cînd se folosesc freze cilindrice cu dinţi înclinaţi, ele se montează în aşa fel, încît componenta axială a forţei de aşchiere să fie îndreptată înspre arborele principal, sau dacă utilizăm bloc de freze, forţele să se anuleze reciproc.

Maşinile de frezat se construiesc în variantele: maşini de frezat plan, maşini de frezat longitudinal şi maşini de frezat universal.

8.3.3.1. **Maşini de frezat plan** (fig. 8.49). Sînt destinate prelucrării suprafeţelor plane de dimensiuni mici şi mijlocii, prin ambele metode de frezare, deoarece masa, sprijinită pe toată lungimea direct pe batiu, asigură ansamblului maşină-sculă-piesă o rigiditate mărită. Instalarea frezei în raport cu înălţimea piesei, precum şi avansul vertical, se face prin deplasarea ei, împreună cu arborele principal, pe coloana maşinii de frezat. Masa execută numai avansul longitudinal.

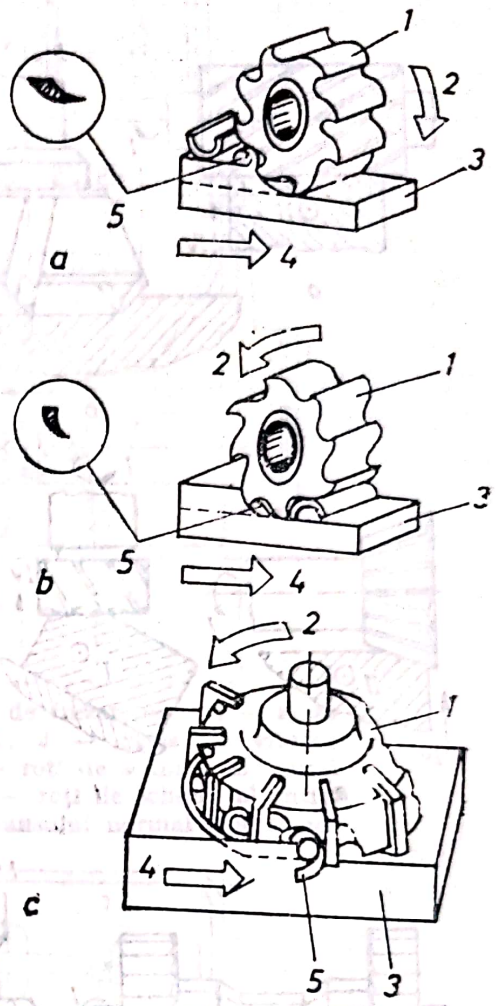


Fig. 8.47. Metode de frezare: *a* — frezare în sens contrar avansului; *b* — frezare în acelaşi sens cu avansul; *c* — frezare cu freză frontală; *1* — freza; *2* — mişcarea principală de rotaţie a frezei; *3* — piesă; *4* — mişcarea de avans a piesei; *5* — aşchie.

8.3.3.2. **Maşini de frezat longitudinal** (fig. 8.50) În linii mari seamănă cu maşinile de rabotat longitudinal. Masa se sprijină direct pe batiu şi realizează mişcarea de avans longitudinal prin antrenarea ei, fie mecanic, fie hidraulic. Pe traversa mobilă, montată pe cele două coloane, se găsesc una sau două sănii port sculă. Pe maşini mai mari, mai puternice, se pot aşeza sănii port sculă şi pe fiecare coloană. Prin aşezarea corespunzătoare a frezelor se pot genera simultan mai multe suprafeţe pe aceeaşi piesă, orientate diferit (fig. 8.51).

8.3.3.3. **Maşina de frezat universal.** Acest tip de maşină, destinată unor prelucrări mai variate, se construieşte în trei variante şi anume: maşină de frezat universal orizontală, maşină de frezat universal verticală şi maşină universală de frezat pentru sculărie. Dotate cu dispozitive speciale, maşinile de frezat sînt capabile să efectueze şi prelucrări de roţi dinţate, arbori canelaţi, profile circulare etc.

Scanned with OKEN Scanner

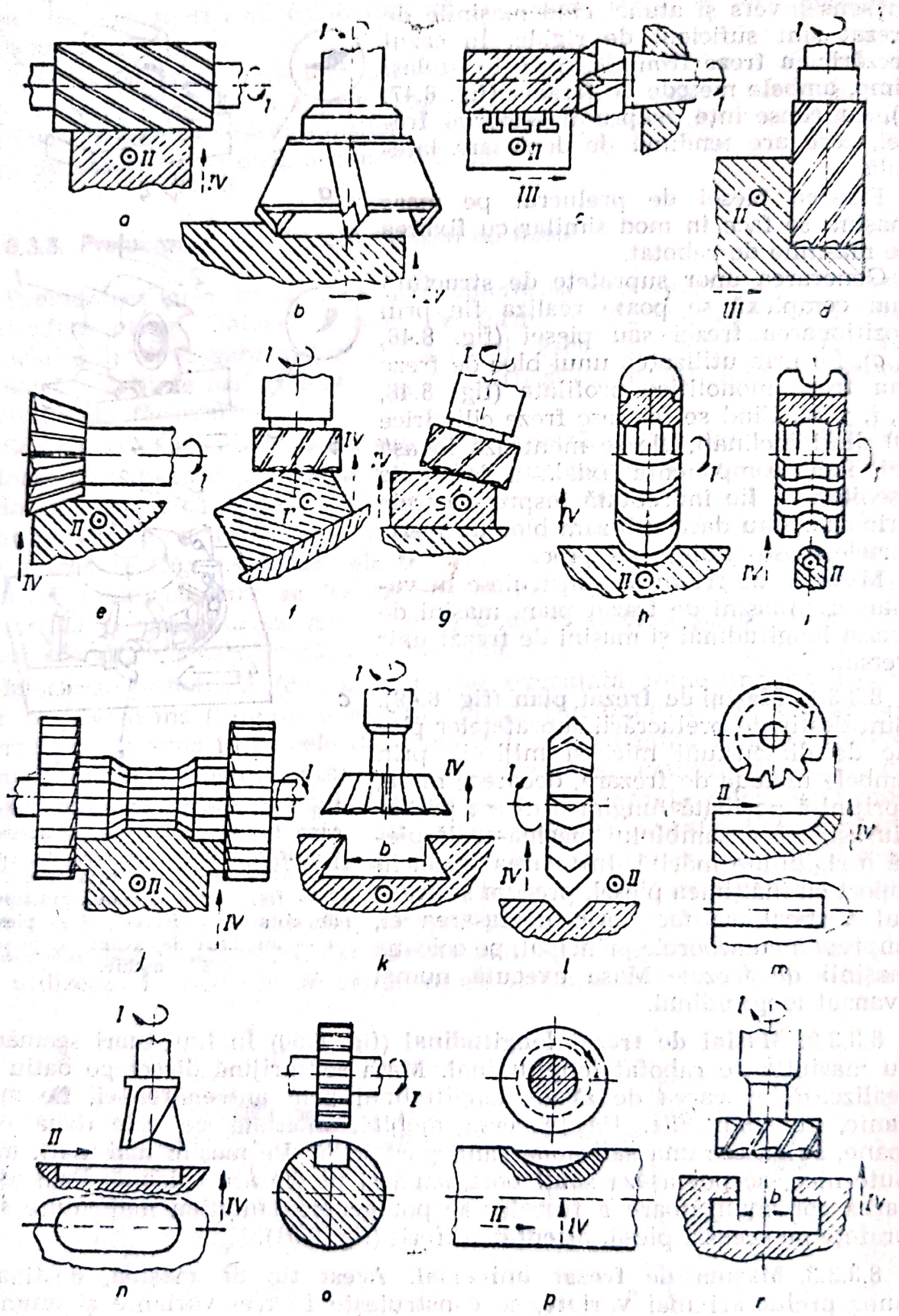


Fig. 8.48. Exemple de frezare cu freze monolitice simple sau profilate, respectiv cu bloc de freze.

Scanned with OKEN Scanner

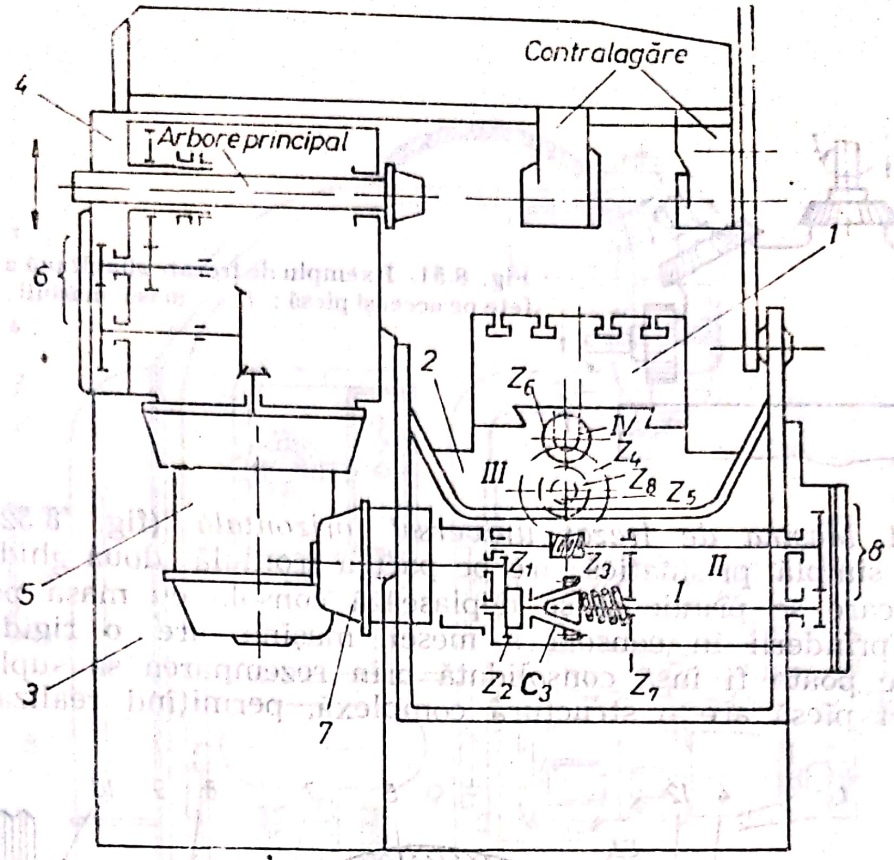


Fig. 8.49. Schema cinematică a mașinei de frezat plan: *1* — masa port piesă; *2* — batiu; *3* — coloană; *4* — cutia de viteze; *5* — motor principal de antrenare; *6* — roți de schimb al cutiei de viteze; *7* — motor pentru avans; *8* — roți de schimb al cutiei de avans; c_3 — cupla pentru comanda avansului normal sau rapid.

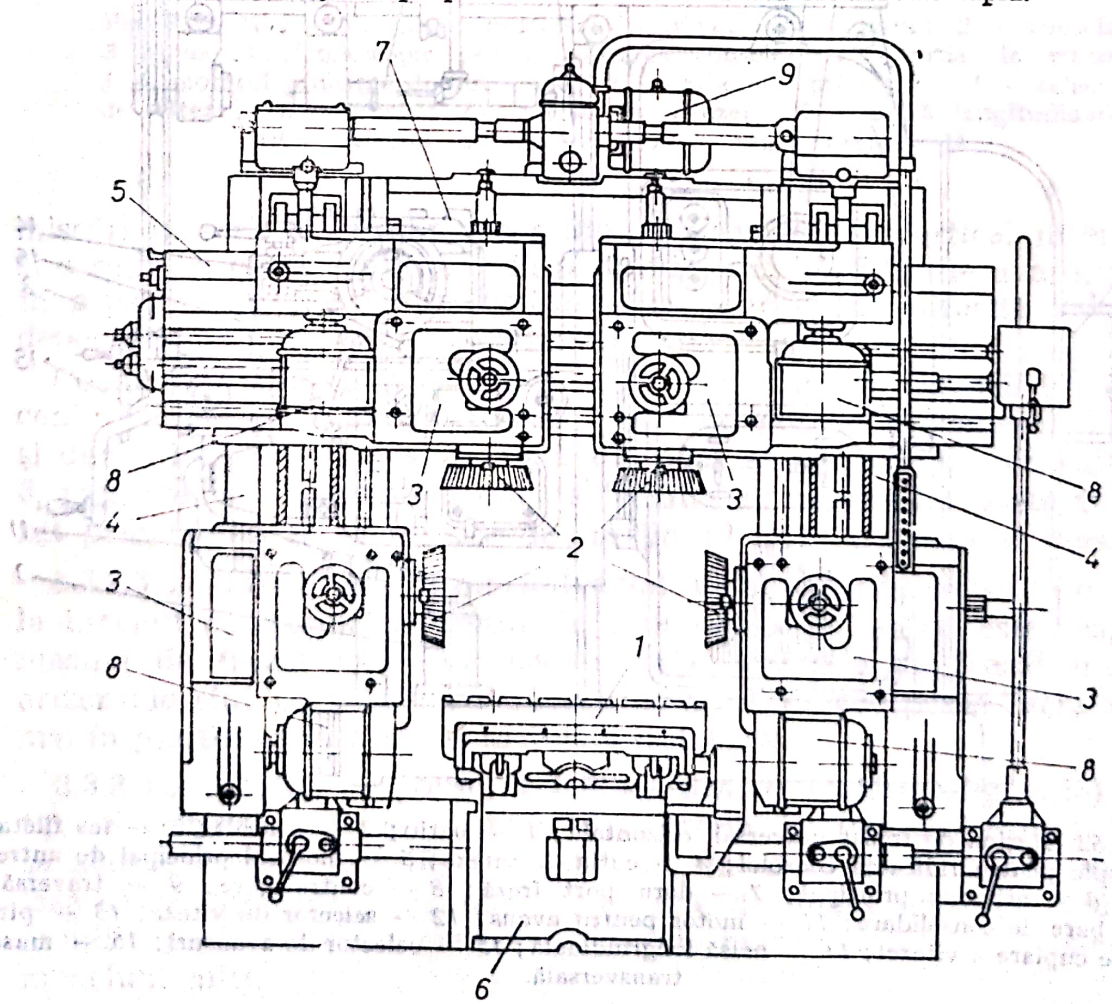


Fig. 8.50. Mașina de frezat longitudinal: *1* — masa port piesă; *2* — freze; *3* — sanie port freză; *4* — coloană; *5* — traversă mobilă; *6* — batiu; *7* — traversă fixă; *8* — motor principal de antrenare a frezelor; *9* — motor pentru antrenarea traversei mobile și sănilor port sculă.

Scanned with OKEN Scanner

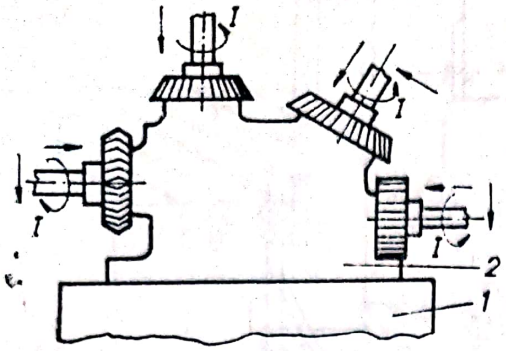


Fig. 8.51. Exemplu de frezare simultană a patru suprafeţe pe aceeaşi piesă: *1* — masa maşinii; *2* — piesa.

8.3.3.3.1. *Maşina de frezat universal orizontală* (fig. 8.52). Batiul de formă simplă, prismatică, are pe partea frontală două ghidaje verticale, pe care se prinde şi se deplasează consola cu masa port piesă. Datorită prinderii în consolă a mesei, maşina are o rigiditate redusă, care poate fi însă consolidată prin rezemnarea sa suplimentară. Masa port piesă are o structură complexă, permiţînd realizarea unor

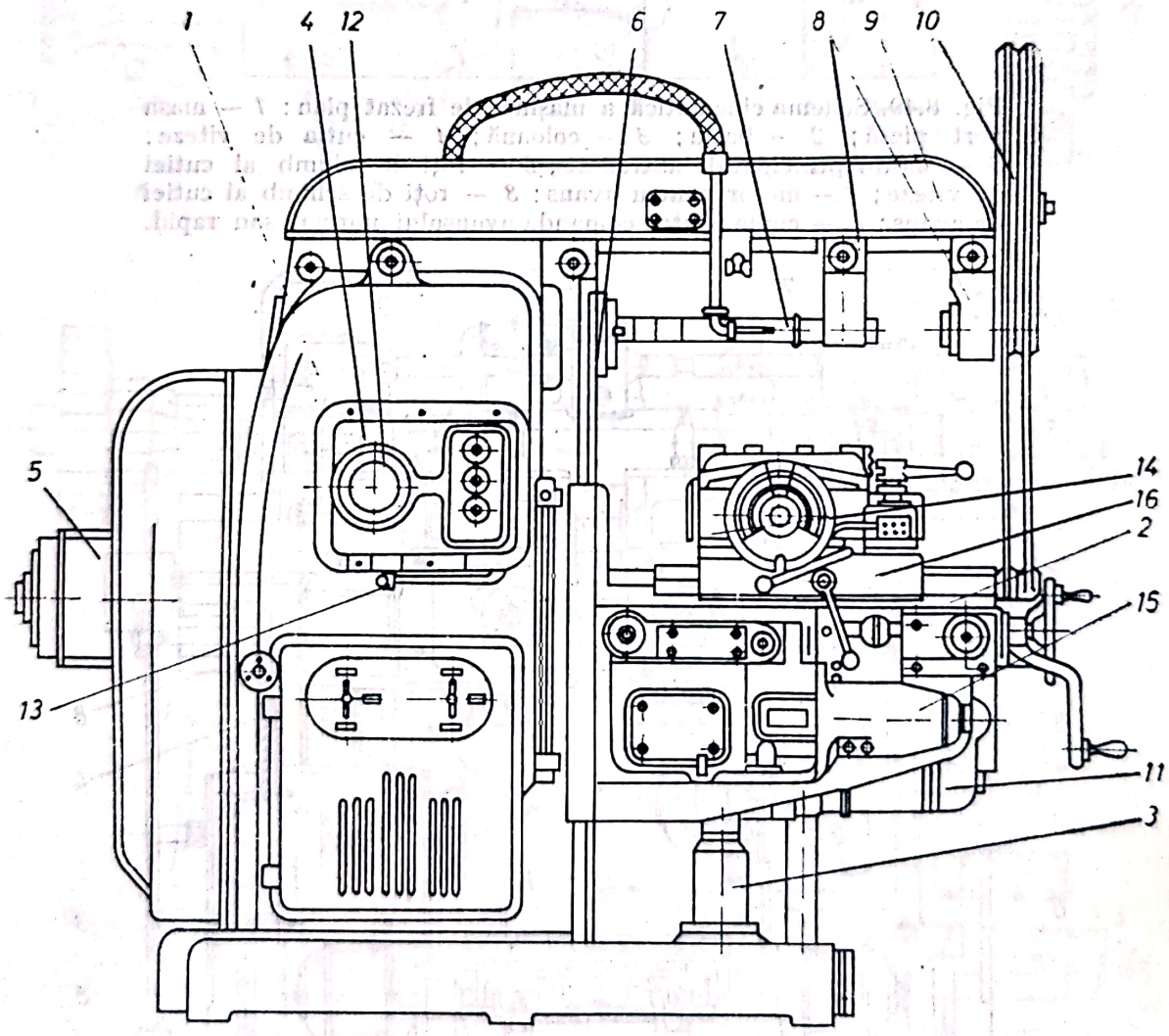


Fig. 8.52. Maşina de frezat universal, orizontală: *1* — batiu; *2* — consola; *3* — fus filetat telescopic pentru ridicarea consolei; *4* — cutia de viteze; *5* — motorul principal de antrenare; *6* — arborele principal; *7* — dorn port freză; *8* — contralagăre; *9* — traversă; *10* — bare de consolidare; *11* — motor pentru avans; *12* — selector de viteze; *13* — pîrghie de cuplare a vitezei; *14* — masă longitudinală; *15* — selector de avansuri; *16* — masă transversală.

Scanned with OKEN Scanner

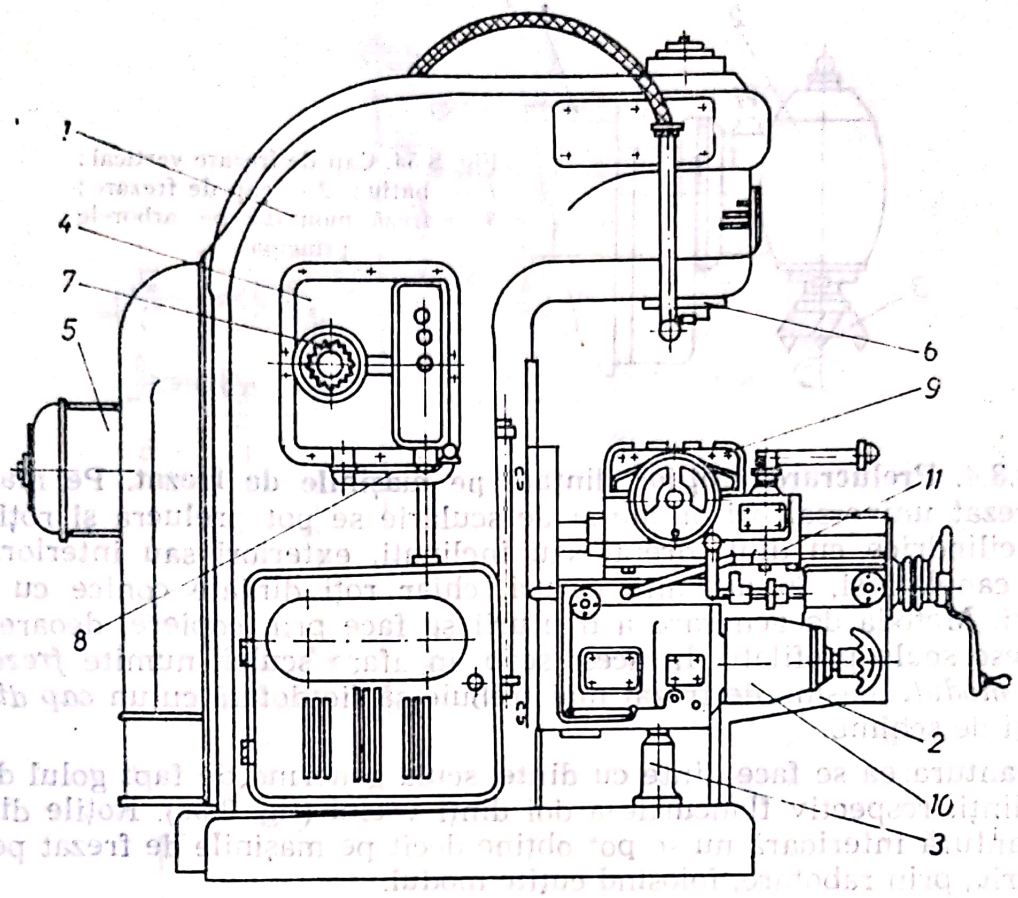


Fig. 8.53. Maşina de frezat universal, verticală: *1* — batiu; *2* — consolă; *3* — fus filetat telescopic pentru ridicarea consolei; *4* — cutia de viteze; *5* — motorul principal de antrenare; *6* — arborele principal; *7* — selector de viteze; *8* — pîrghie de cuplare a vitezei; *9* — masă longitudinală; *10* — selector de avansuri; *11* — masă transversală.

mişcări în sens longitudinal continui, transversal şi vertical intermitent şi o rotire a părţii superioare în plan orizontal. O cutie de avans, plasată în consola mesei, asigură realizarea avansurilor de diferite valori, independent de mişcarea de rotaţie a frezei.

Coada conică a dornului port freză (fig. 8.46) se fixează în alezajul conic al arborelui principal, care este în poziţie orizontală, de unde şi denumirea maşinii, iar cu celălalt capăt se sprijină pe contralagărele *8*, montate pe traversa maşinii de frezat. Tot ansamblul poate fi rigidizat prin montarea unor bare de sprijin *10* între traversă şi masă.

8.3.3.3.2. *Maşina de frezat universal verticală* (fig. 8.53). Construită la început ca maşină de frezat de sine stătătoare, astăzi este răspîndită maşina de frezat universal convertibilă. Maşinile de frezat universal orizontale sînt prevăzute cu un cap de frezare care poate lucra nu numai în poziţie verticală ci şi înclinată (fig. 8.54).

8.3.3.3.3. *Maşina de frezat universal pentru scularie* (fig. 8.55). Acest tip de maşină de frezat dispune de o serie de accesorii care îi permit să abordeze toate tipurile de prelucrări, în afară de strunjire. Aşa cum lasă să se înţeleagă şi denumirea, ea este destinată echipării sculăriilor, avînd capacitatea de a prelucra piese de mare complexitate, dar de dimensiuni mici.

Scanned with OKEN Scanner

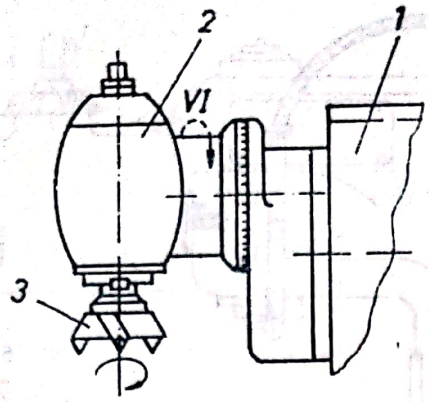


Fig. 8.54. Cap de frezare vertical: *1* — batiu; *2* — cap de frezare; *3* — freză montată pe arborele principal.

8.3.3.4. **Prelucrarea roților dințate pe mașinile de frezat.** Pe mașinile de frezat universal orizontale și de sculărie se pot prelucra și roți dințate cilindrice cu dinți drepți sau înclinați, exteriori sau interiori, arbori canelați și, în anumite cazuri, chiar roți dințate conice cu dinți drepți. Metoda de generare a danturii se face prin copiere, deoarece se folosesc scule profilate. În acest scop, în afara sculei, numite *freză sau cuțit modul*, mașina de frezat mai trebuie să fie dotată cu un *cap divizor* și roți de schimb.

Danturarea se face dinte cu dinte, scula generînd de fapt golul dintre doi dinți, respectiv flancurile a doi dinți vecini (fig. 8.56). Roțile dințate cu dantură interioară nu se pot obține decît pe mașinile de frezat pentru sculărie, prin rabotare, folosind cuțite modul.

Sculele se livrează în seturi. Un set cuprinde un număr de opt freze, pentru fiecare modul, numerotate de la 1 la 8. Alegerea sculei se face în funcție de mărimea modulului și de numărul de dinți a roții de prelucrat, conform indicațiilor din tabelul 8.4.

În afară de sculă, un rol preponderent în calitatea prelucrării o are *capul divizor*, a cărui funcție este de a împărți periferia roții într-un număr de părți egale, corespunzător numărului de dinți.

Capul divizor, în varianta sa cea mai complexă — cap divizor universal (fig. 8.57), prin posibilitățile sale de divizare directă, indirectă și diferențială, permite, ca avînd puține accesorii (3—5 discuri divizoare și circa 22 roți dințate de schimb), să se poată realiza danturi cu orice numere de dinți.

Pentru *divizarea directă* se folosește discul divizor *4*, montat direct pe arborele principal al capului divizor *3*, cu care se rotește împreună față de un index de poziționare *5*. Se poate obține orice divizare pentru care există condiții de divizibilitate între numărul total de diviziuni (găuri) de pe discul divizor N și numărul de dinți ai roții. De exemplu, cu un disc divizor cu 40 diviziuni se pot prelucra roțile dințate avînd următoarele numere de dinți: 2, 4, 5, 8, 10, 20 și 40.

Pentru *divizarea indirectă*, între discul divizor și arborele principal al capului divizor se intercalează un angrenaj elicoidal 7, 6, cu raport mare de transmisie (i=1/40), considerat ca o constantă a capului divizor. Datorită acestui angrenaj se multiplică posibilitățile de divizare, chiar folosind un singur disc divizor, deoarece numărul de dinți z ce poate fi prelucrat pe o roată corespunde divizorilor comuni ai produsului $N \cdot 1/i$, respectiv în cazul folosirii aceluiași disc cu 40 diviziuni se pot

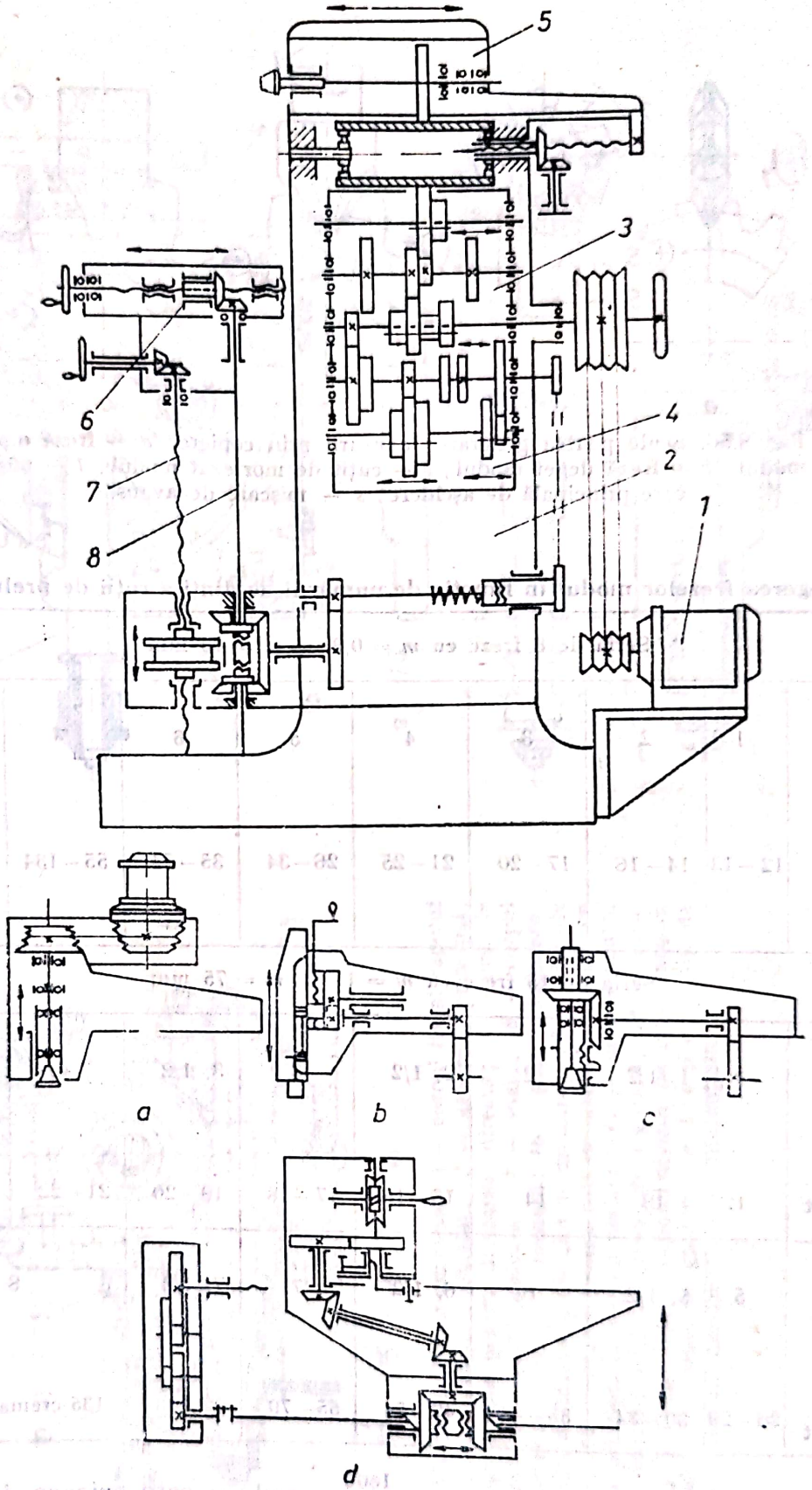


Fig. 8.55. Mașina de frezat universal pentru sculărie: *1* — motor; *2* — batiu; *3* — cutie de viteză; *4* — cutie de avans; *5* — dispozitiv de frezare orizontal; *6* — masa mașinii; *7* — dispozitiv de ridicare a mesei; *8* — dispozitiv de avans longitudinal; *a* — dispozitiv de găurit; *b* — dispozitiv de mortezat; *c* — dispozitiv de frezat vertical; *d* — dispozitiv de divizare.

Scanned with OKEN Scanner

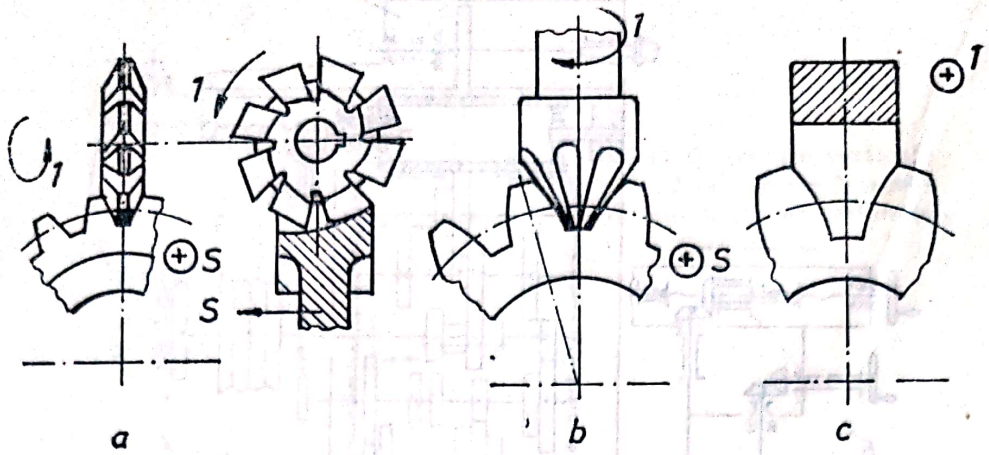


Fig. 8.56. Scule pentru generarea danturii prin copiere: *a* — freză disc modul; *b* — freză deget modul; *c* — cuțit de mortezat modul; *1* — mișcare principală de așchiere; *s* — mișcare de avans.

Tabelul 8.4

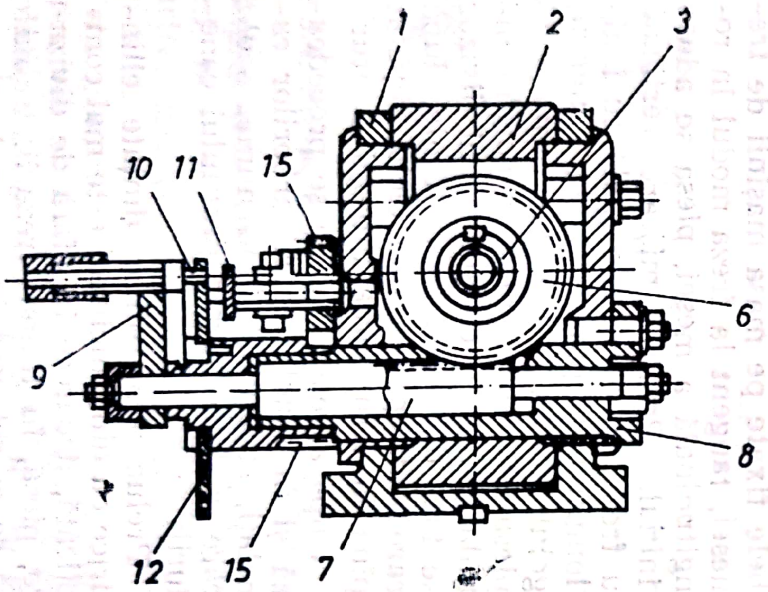
Alegerea frezelor modul în funcție de numărul de dinți a roții de prelucrat

Seria de 8 freze cu $m = 0{,}8 \ldots m = 10$ mm								
Nr. frezei	1	2	3	4	5	6	7	8
Nr. de dinți al roții de prelucrat	12—13	14—16	17—20	21—25	26—34	35—54	55—134	135—cremalieră
Seria de 15 freze cu $m = 11 \ldots m = 75$ mm								
Nr. frezei	1	1, 1/2	2	2, 1/2	3	3, 1/2	4	4, 1/2
Nr. de dinți al roții de prelucrat	12	13	14	15—16	17—18	19—20	21—22	23—25
Nr. frezei	5	5, 1/2	6	6, 1/2	7	7, 1/2	8	
Nr. de dinți al roții de prelucrat	26—29	30—34	35—41	42—54	55—79	80—134	135-cremalieră	

realiza roți dințate pentru care $z = \frac{1600}{n}$, unde n este oricare divizor a lui 1600. Un disc divizor *12* are mai multe cercuri de divizare concentrice, fiecare cerc având un număr N diferit de găuri.

Pentru numerele prime de dinți, sau pentru care nu avem discuri, divizoare, se folosește *metoda diferențială de divizare*. În acest scop, în-

Scanned with OKEN Scanner



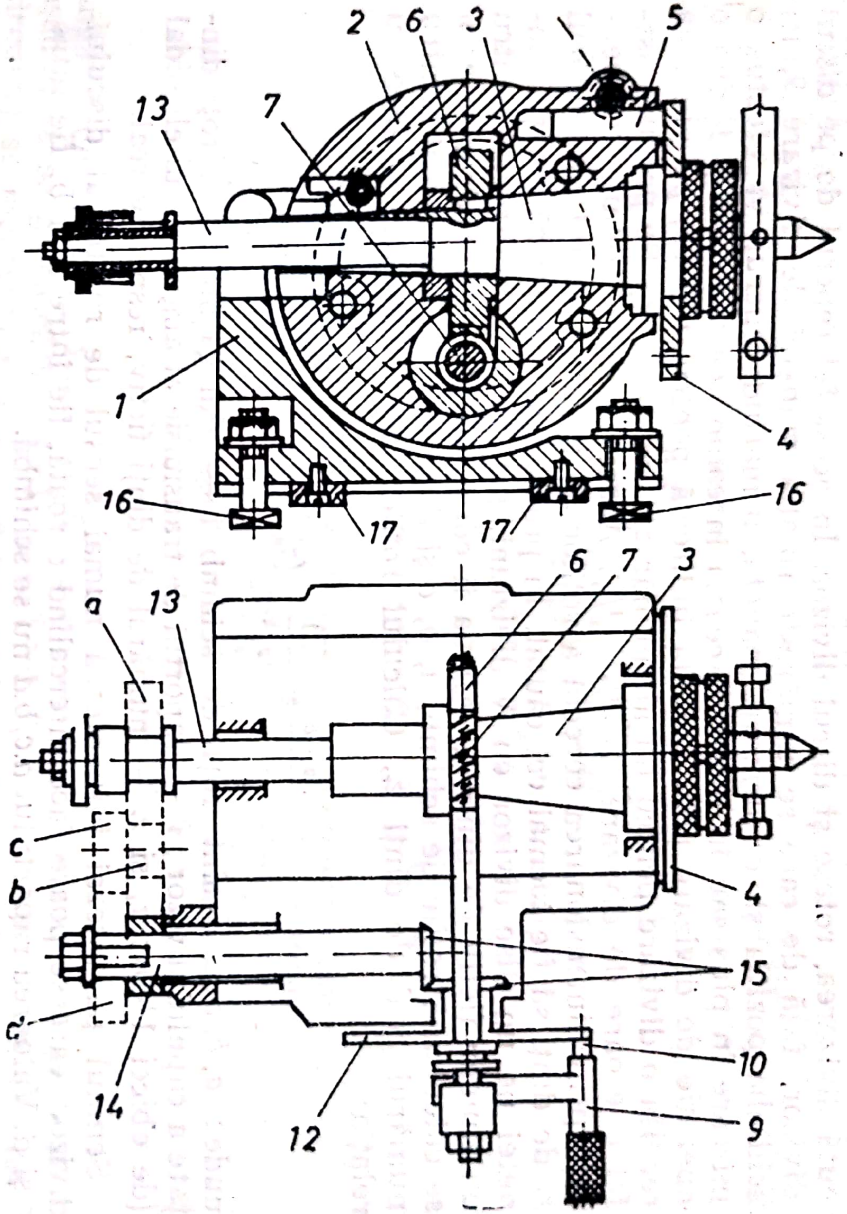


Fig. 8.57. Capul divizor universal: *1* — corpul fix al capului divizor; *2* — corpul înclinabil; *3* — arborele principal; *4* — disc divizor pentru divizarea directă; *5* — cui de indexare; *6* — roată melcată; *7* — melc; *8* — corpul excentric al melcului; *9* — manetă; *10* — ştift de indexare; *11* — ştift de blocare a discului de divizare; *12* — disc de divizare; *13* — arbore pentru roţi de schimb coaxial cu arborele principal al capului divizor; *14* — arbore pentru roţi de schimb; *15* — angrenaj de legătură; *16* — şuruburi cap T pentru fixarea capului divizor pe masa maşinii de frezat; *17* — pene de ghidare; *a*, *b*, *c* şi *d* — roţi de schimb pentru divizare diferenţială.

Scanned with OKEN Scanner

tre arborele principal al capului divizor și discul divizor, liber pe axul său, se montează roți dințate de legătură, *abcd* care, atunci cînd se execută divizarea, rotesc și discul divizor. În acest fel reperul de pe discul divizor, față de care se urmărește rotația manetei de divizare *9*, își schimbă poziția și, ca urmare, maneta, urmărind reperul, va efectua o mișcare în plus sau în minus. Aceasta înseamnă că socotind și făcînd o operație de divizare prin metoda indirectă pentru z dinți, pe piesă va rezulta o divizare pentru un alt număr z_1, unde $z \neq z_1$. Se produce astfel o eroare de divizare $E = {}^1/_z - {}^1/_{z_1}$. Această eroare trebuie compensată prin dimensionarea corectă a roților de legătură, astfel ca numărul z_1 de dinți să fie tocmai cel căutat. În practică se calculează rotația manetei pe un disc divizor cu N diviziuni, prin metoda indirectă, pentru un număr fictiv de dinți z_a, căruia îi corespunde discul divizor și apoi se calculează roțile de schimb, *a*, *b*, *c* și *d*, necesare compensării pentru numărul real de dinți z_r. Calculul roților compensatoare se face cu relația:

$$\frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{1}{z_a \cdot i}\,(z_a - z_r),$$

unde: *a*, *b*, *c* și *d* sînt roți de schimb alese din garnitura de roți dințate a capului divizor; i — raportul de transmisie al angrenajului elicoidal (de obicei 1/40); z_a și z_r — numărul de dinți fictiv, respectiv real.

Semnul parantezei influențează numai sensul de rotație al discului divizor, care se poate face intercalînd o roată, fie între *a* și *b*, fie între *c* și *d*. Valoarea raportului *a.c/b.d* nu se schimbă.

Prelucrarea unei roți dințate cilindrice cu dinți drepți, pe mașina de frezat universal orizontală se face după schema prezentată în figura 8.58. Semifabricatul se fixează pe un dorn și se prinde între vîrful din capul divizor și vîrful păpușii mobile, ambele fixate pe masa mașinii de frezat. Se aduce piesa, prin ridicarea mesei, tangent la freza modul în rotație, după care, prin deplasarea longitudinală a mesei, piesa se aduce într-o poziție retrasă, considerată inițială. Printr-o mișcare verticală a mesei, piesa se ridică, în raport cu freza, cu o valoare egală cu înălțimea dintelui. Se pornește avansul longitudinal pînă ce freza, generînd golul dintelui, iese din contact cu piesa. Se readuce piesa în poziție inițială și apoi deblocînd capul divizor se face divizarea cu un dinte, după care reîncepe un nou ciclu, repetat pînă la terminarea întregii danturi.

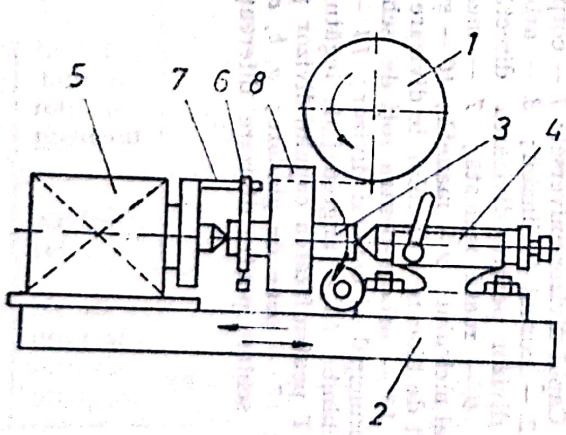


Fig. 8.58. Schemă tip pentru prelucrarea roților dințate cilindrice cu dinți drepți prin copiere: *1* — freză disc modul; *2* — masa port piesă; *3* — dorn port piesă; *4* — păpușă mobilă; *5* — cap divizor; *6* — inimă de antrenare; *7* — antrenor; *8* — piesa de danturat.

După aceeași schemă se procedează și în cazul frezării arborilor canelați, schimbată fiind numai scula care va fi conformă profilului canelurii.

Prelucrarea roților dințate cilindrice cu dinți înclinați este mai complicată, deoarece în afară de divizare, piesa, în timpul frezării, trebuie să se și rotească în concordanță cu avansul longitudinal și trebuie instalată sub un unghi, ce depinde de

Scanned with OKEN Scanner

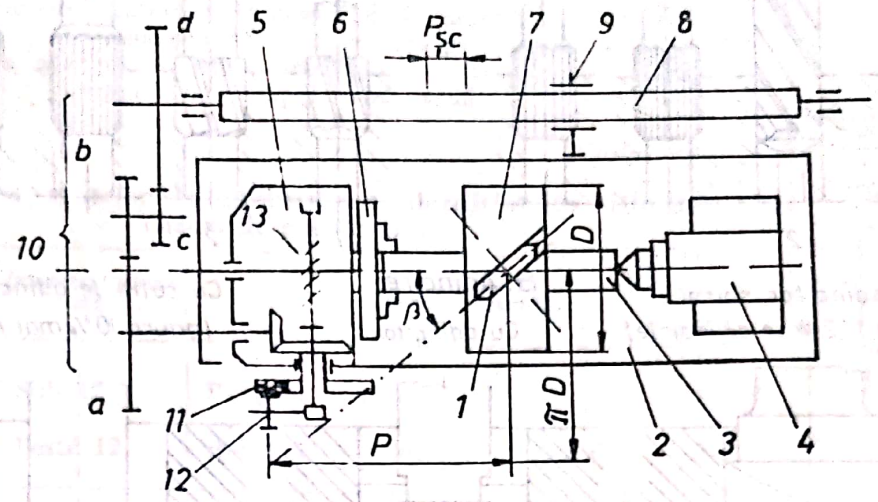


Fig. 8.59. Aranjamentul mașinii de frezat pentru prelucrarea roților dințate cilindrice cu dinți înclinați cu unghiul β: *1* — freza; *2* — masa port piesă; *3* — dorn port piesă; *4* — păpușa mobilă; *5* — cap divizor; *6* — universal; *7* — piesă de danturat; *8* — fusul filetat pentru avansul longitudinal; *9* — piuliță de antrenare; *10* — roți dințate de schimb; *11* — disc divizor; *12* — manetă; *13* — angrenaj elicoidal cu raportul *i*.

unghiul de înclinare a dinților β, în așa fel ca în permanență zona de așchiat să se găsească sub freză (fig. 8.59). Pentru rotirea piesei (avans circular) se montează roți dințate de legătură între șurubul conducător al avansului mesei și axul roții elicoidale a capului divizor. Ele se calculează cu relația:

$$\frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{P}{P_{sc}} \cdot i = \frac{\pi \cdot m \cdot z}{P_{sc} \cdot \sin \beta} \cdot i,$$

unde: P este pasul spirei pe care se înscrie dintele înclinat; P_{sc} — pasul șurubului conducător al mesei; m — modulul roții care se prelucrează; z — numărul de dinți ai roții; β — unghiul de înclinare al danturii; i — raportul de transmisie al angrenajului elicoidal.

În timpul prelucrării discul divizor este deblocat pentru a putea prelua mișcarea de la roțile de legătură și a o transmite mai departe prin manetă și angrenajul elicoidal, piesei. În timpul divizării se blochează discul și se face divizarea prin metoda indirectă.

8.3.4. Prelucrarea prin găurire și alezare

Suprafețele cilindrice interioare se pot prelucra, în funcție de dimensiuni, precizie dimensională și destinație, prin operațiuni de bază de: găurire, alezare, adîncire și, suplimentar, prin zencuire și lamare (fig. 8.60).

Prin găurire, folosind scule denumite burghie, se pot realiza găuri cu precizie mai mică, avînd diametre pînă la 70 mm. Burghiele, care pot fi plate, spirale sau speciale, au, în general, două muchii așchietoare, legate între ele printr-o muchie transversală (fig. 8.61). Procesul de așchiere se realizează prin rotirea burghiului în același timp cu deplasarea sa axială, considerată mișcare de avans.

Scanned with OKEN Scanner

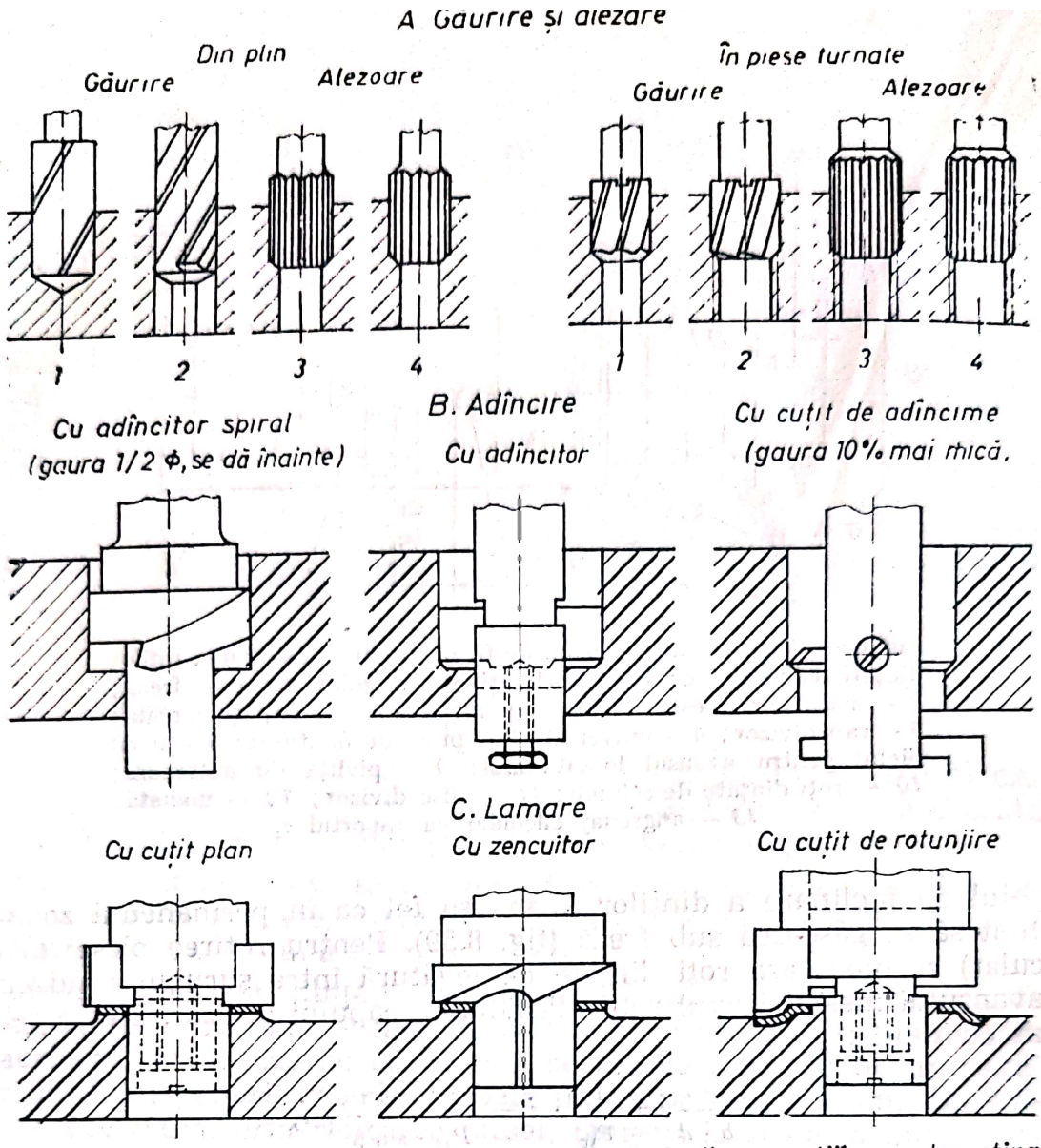


Fig. 8.60. Prelucrarea alezajelor: *1, 2, 3* și *4* — succesiunile operațiilor pentru atingerea cotei finale.

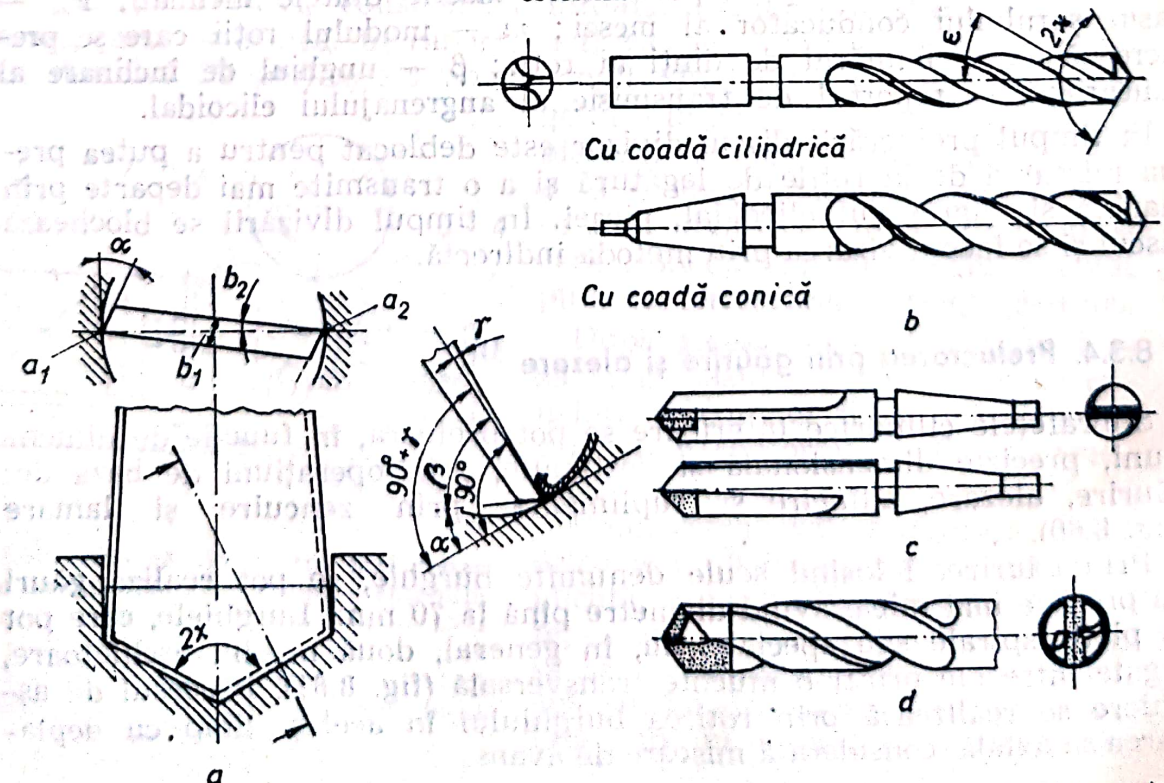
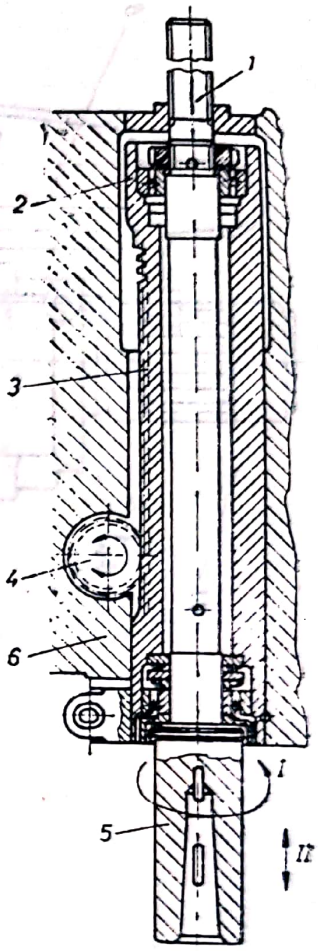


Fig. 8.61. Exemple de burghie: *a* — burghiu plat; *b* — burghie spirale; *c* — burghie pentru țeavă; *d* — burghiu spiral armat cu plăcuță de aliaj dur.

Scanned with OKEN Scanner

Fig. 8.62. Arborele principal al mașinilor de găurit: *1* — arborele de antrenare; *2* — manșon; *3* — cremalieră pe manșon; *4* — pinionul de avans; *5* — capul arborelui de antrenare cu alezaj conic; *6* — capul port sculă.



Tabelul 8.5

Succesiunea sculelor la prelucrarea alezajelor în diferite cazuri de prelucrare.

Clasa de precizie	Diametrul găurii mm	Succesiunea prelucrării
3	Sub 12	Burghiu — alezor
	Peste 12	Burghiu — adîncitor — alezor
2	Sub 12	Burghiu — alezor de degroșare — alezor de finisare
	Peste 12	Burghiu — adîncitor — alezor de degroșare — alezor de finisare

În vederea suprapunerii, celor două mișcări de bază, de valori diferite, pe același element, pe burghiu, dispozitivul port sculă are o construcție specială, prezentată în figura 8.62. Sculele se fixează în alezajul conic al arborelui principal, fie direct cu ajutorul reducțiilor (cînd conicitățile sau diametrele sînt de valori diferite) fie cu ajutorul mandrinelor, cînd sculele au cozi cilindrice.

Găurirea nu se face totdeauna la dimensiunea prescrisă, într-o singură operațiune, mai ales cînd ea se face în plin, ci în trepte (tab. 8.5). Pentru diametre mai mari de 70 mm sau chiar mai mici, cînd nu se dispune de burghie de diametre corespunzătoare, prelucrarea se face prin adîncire, folosind adîncitoare spirale sau cuțite de adîncire.

Mașinile de găurit se construiesc în mai multe variante, soluțiile fiind influențate, mai ales, de diametrul maxim posibil de realizat și capacitatea de deservire.

8.3.4.1. **Mașina de găurit de masă** (fig. 8.63). Este cea mai simplă mașină de găurit, capabilă să realizeze găuriri de maximum 12 mm. Cu excepția rotirii burghiului de către motorul de antrenare, prin intermediul unei cutii de viteze, toate celelalte mișcări, inclusiv avansul se efectuează manual.

8.3.4.2. **Mașina de găurit cu coloană** (fig. 8.64). Mașina de găurit din figură este un tip reprezentativ al acestei categorii, care se fabrică și la noi în țară. Caracteristic pentru aceste mașini este existența a două mese, una inferioară fixă, pe care se așază piesele masive și înalte, și una mai mică, deplasabilă pe coloană și cu posibilități de rotire în plan orizontal. Capul mașinii de găurit, (sania port sculă), deplasabil pe verticală în vederea instalării în poziție corespunzătoare înălțimii piesei, are o structură complexă, fiind sediul cutiei de viteze și de avans și a unui sistem de comandă extrem de complex. Într-adevăr sistemul de comandă permite avans: automat, fin, la simț și avans rapid, oprirea au-

Scanned with OKEN Scanner

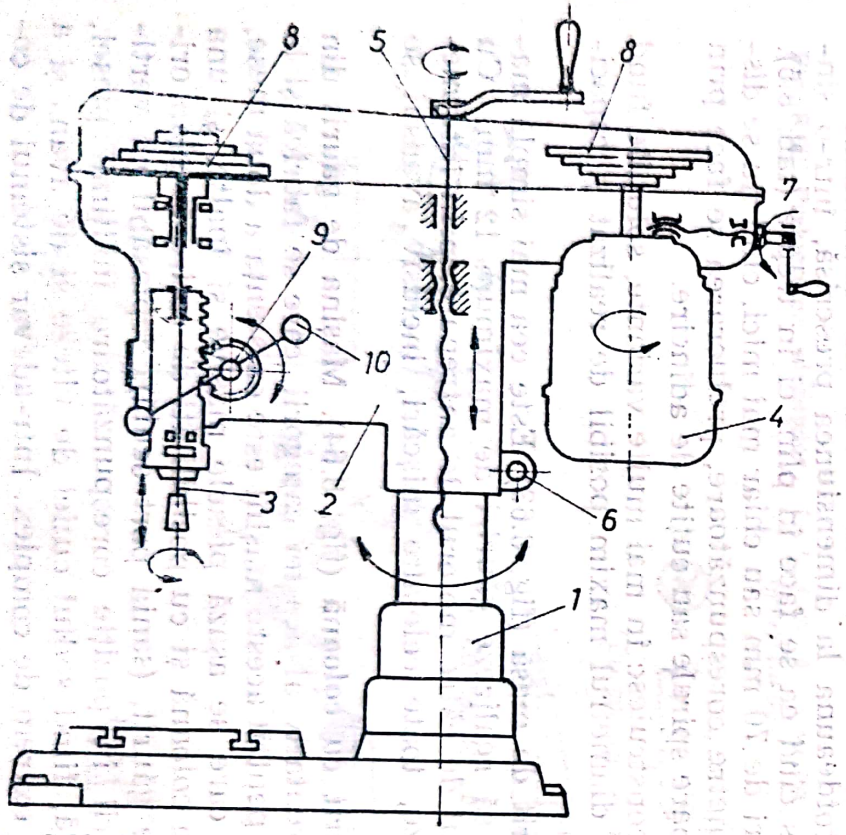


Fig. 8.63. Schema mașinii de găurit de masă M.G.12: *1* — batiu; *2* — capul port sculă; *3* — arborele principal; *4* — motor de antrenare; *5* — dispozitiv fus filetat-piuliță pentru deplasarea pe verticală a capului port sculă; *6* — sistem de blocare; *7* — dispozitiv de întindere a curelei cutiei de viteze cu conuri etajate; *8* — cutie de viteze cu conuri etajate; *9* — dispozitiv manual de avans; *10* — manetă de avans manual.

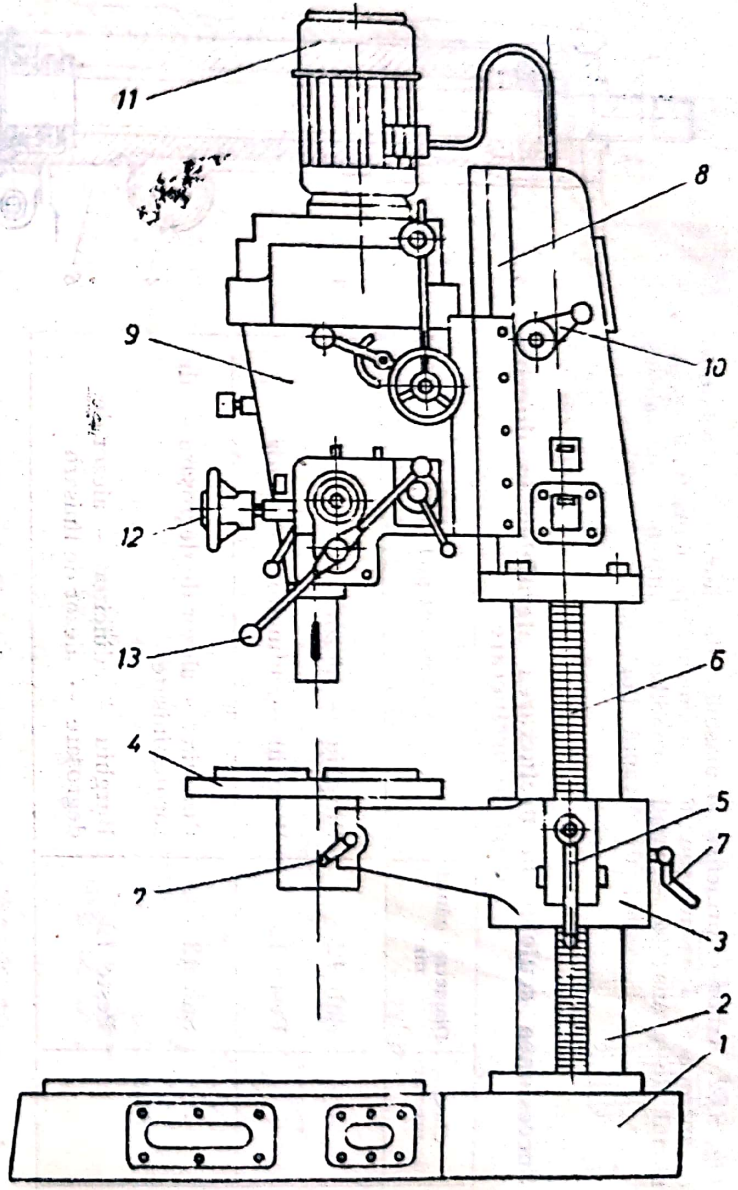


Fig. 8.64. Mașina de găurit cu coloană: *1* — batiu; *2* — coloană; *3* — corpul mesei port piesă; *4* — masa port piesă; *5* — manivelă pentru ridicarea mesei port piesă; *6* — cremalieră; *7* — manetă de blocare a mesei port piesă, respectiv a corpului mesei port piesă; *8* — capul coloanei; *9* — sania port sculă; *10* — maneta de deplasare a saniei port sculă; *11* — motor de antrenare; *12* — comanda avansului automat; *13* — maneta avansului manual.

Scanned with OKEN Scanner

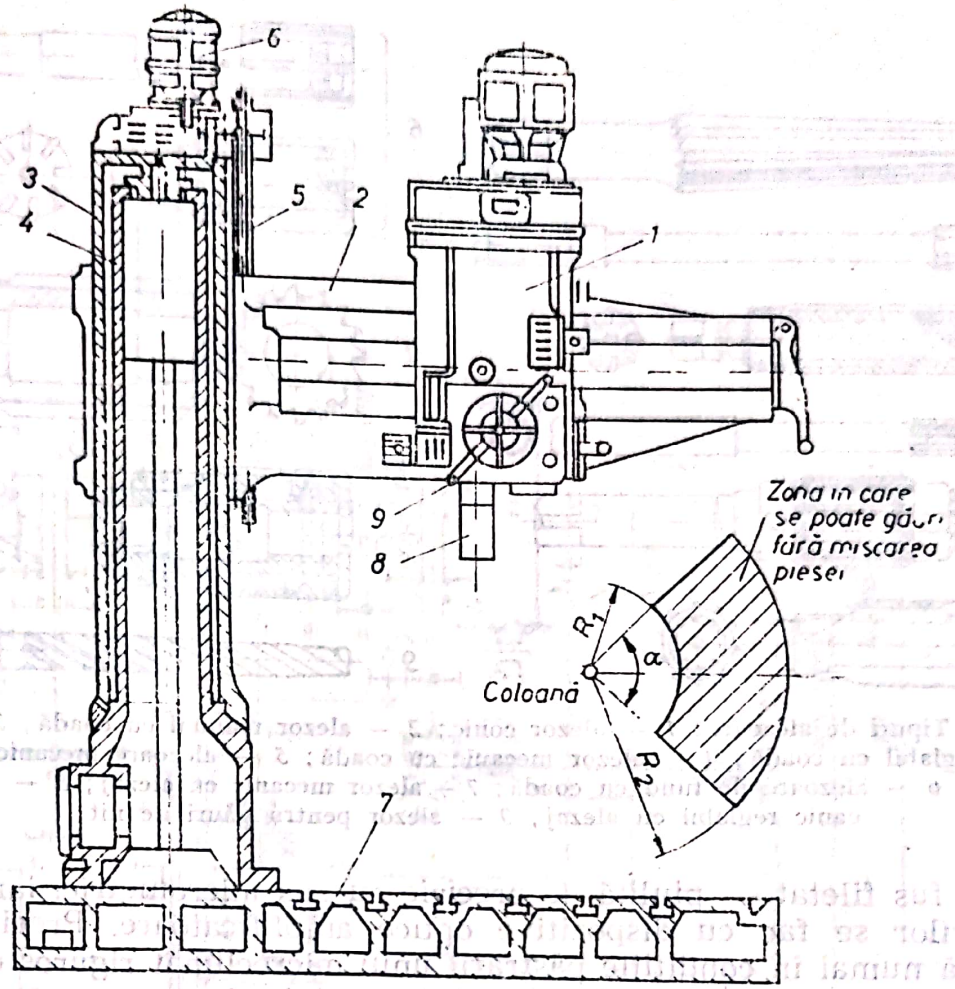


Fig. 8.65. Structura mașinii de găurit radială: *1* — capul mașinii de găurit; *2* — braț mobil; *3* — coloana rotitoare a brațului mobil; *4* — coloană fixă; *5* — fus filetat pentru deplasarea verticală a brațului; *6* — motor pentru deplasarea și rotirea brațului; *7* — batiu cu canale T pentru fixarea pieselor mari; *8* — arbore principal; *9* — maneta avansului manual.

tomată a avansului la atingerea adîncimii prescrise și retragerea burghiului în poziție inițială. Și aceste mașini se construiesc de diferite tipodimensiuni, funcție de diametrul maxim realizabil al găurii.

8.3.4.3. **Mașina de găurit radială** (fig. 8.65). Are capul mașinii similar cu cel al mașinii de găurit cu coloană, însă montat pe un braț care se poate roti și deplasa vertical pe o coloană. Capul mașinii putîndu-se deplasa radial pe braț, acoperă o suprafață mare, pe care se poate poziționa burghiul, fără a mai fi nevoie de mișcarea pieselor grele. Aceste posibilități multiple de deplasare a capului mașinii ușurează deservirea mașinii și ridică precizia prelucrării și calitatea poziționării.

8.3.4.4. **Mașini de găurit în coordonate.** Sînt mașini de mare complexitate și precizie ridicată, utilizate pentru prelucrarea componentelor utilajelor prototip, a sculelor, dispozitivelor și verificatoarelor (S.D.V.). Mașina este de construcție foarte rigidă, avînd capul montat pe o traversă și masa așezată pe batiu. Piesa se fixează pe masă, cu care împreună, pentru poziționare, se poate deplasa după un sistem de coordonate rectangulare. Atît deplasarea capului cît și a piesei se poate face cu foarte mare precizie, deoarece sistemele de antrenare se realizează cu me-

Scanned with OKEN Scanner

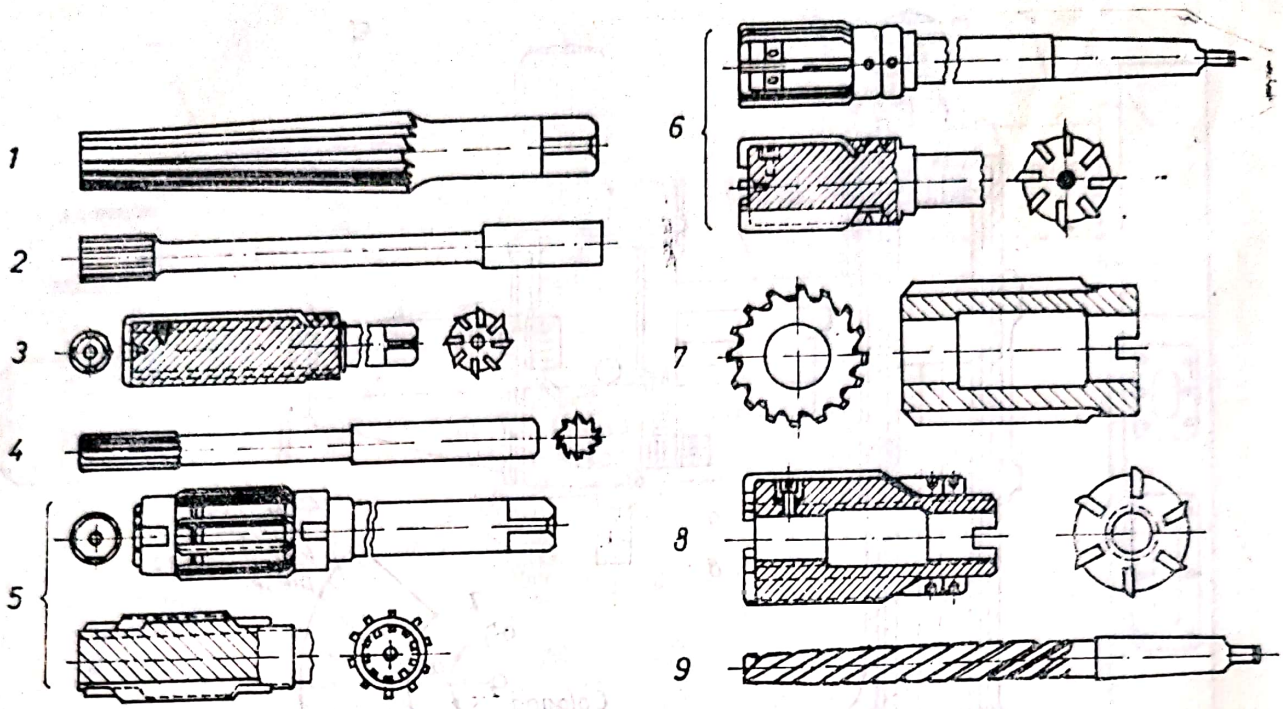


Fig. 8.66. Tipuri de alezoare: *1* — alezor conic; *2* — alezor manual cu coadă; *3* — alezor manual reglabil cu coadă; *4* — alezor mecanic cu coadă; *5* — alezoare mecanice reglabile cu coadă; *6* — alezoare de fund cu coadă; *7* — alezor mecanic cu alezaj; *8* — alezor mecanic reglabil cu alezaj; *9* — alezor pentru găuri de nit.

canisme fus filetat — piuliță de precizie cu pas micrometric, iar citirile deplasărilor se fac cu dispozitive optice amplificatoare. Precizia este asigurată numai în condițiile păstrării unui microclimat riguros constant în încăperile în care sînt amplasate aceste mașini.

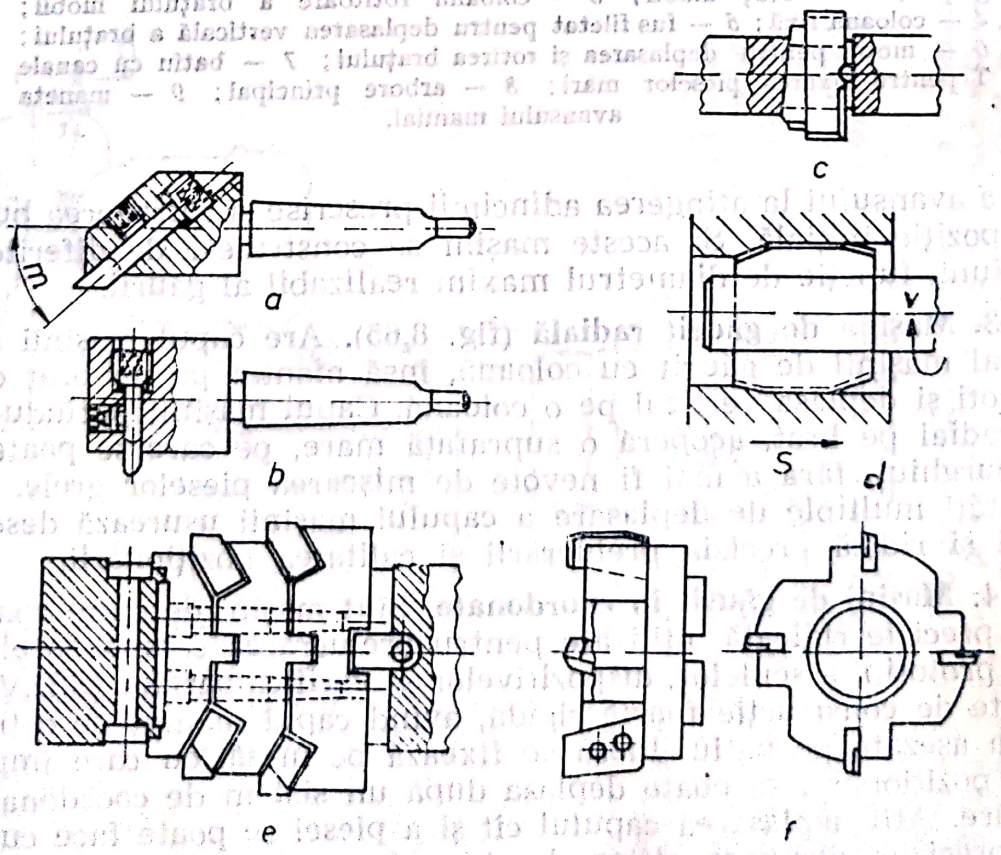


Fig. 8.67. Scule pentru prelucrarea alezajelor de dimensiuni mari.

Scanned with OKEN Scanner

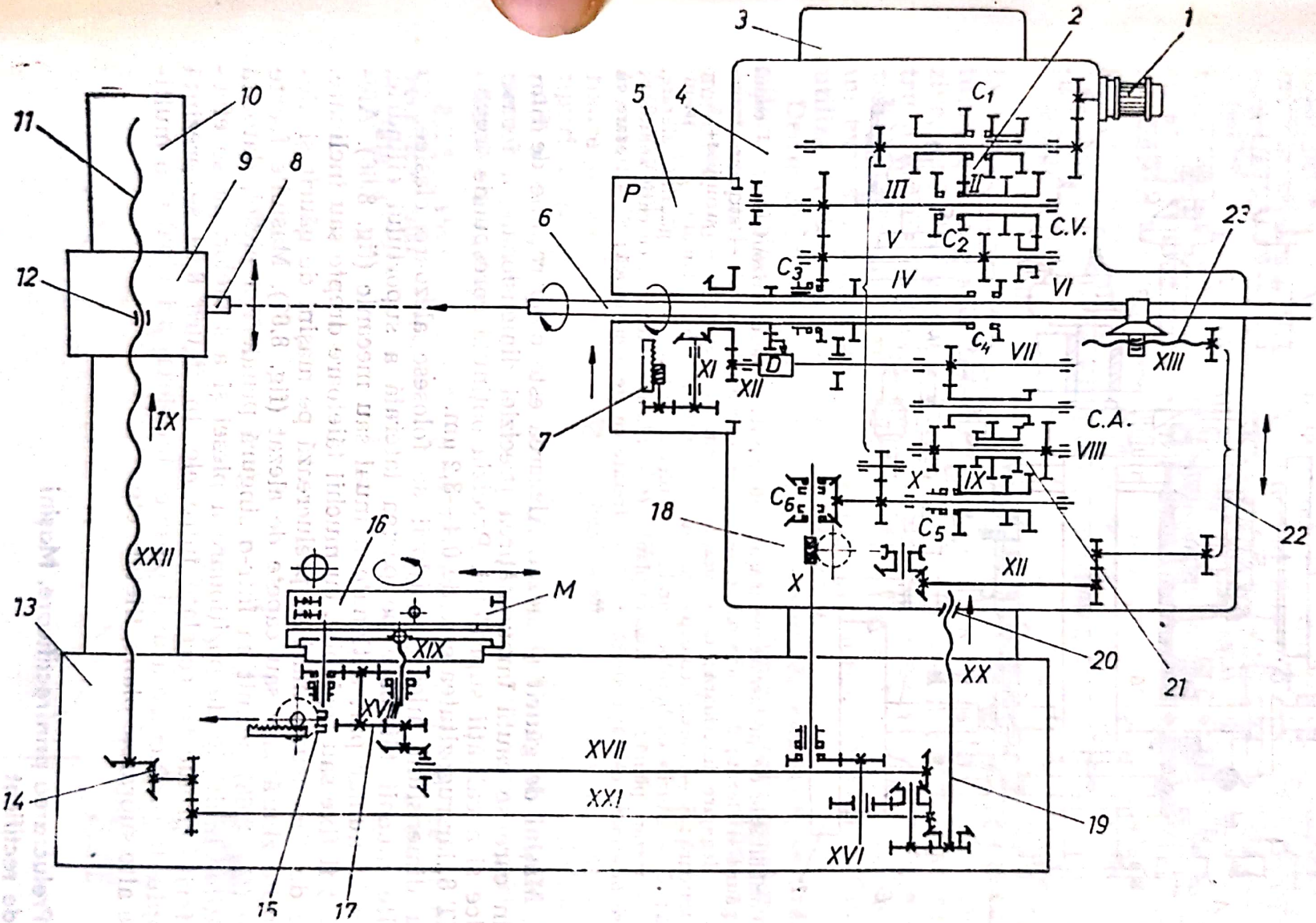


Fig. 8.68. Structura maşinii de găurit şi alezat orizontal: *1* — motor de antrenare; *2* — cutie de viteze; *3* — coloană; *4* — sanie; *5* — capul de frezat; *6* — arborele port sculă; *7* — dispozitiv de deplasare transversală; *8* — contralagăr; *9* — sania contralagărului; *10* — coloană; *11* — fus filetat; *12* — piuliţă; *13* — batiu; *14* — angrenaj conic; *15* — masa inferioară; *16* — masa superioară; *17* — angrenaj pentru antrenarea mesei; *18* — cuplă; *19* — fus filetat pentru deplasarea verticală a saniei *4*; *20* — piuliţă; *21* — cutie de avans; *22* — legătura cinematică pentru avansul longitudinal al arborelui port sculă; *23* — dispozitiv de avans fus filetat-piuliţă.

Scanned with OKEN Scanner

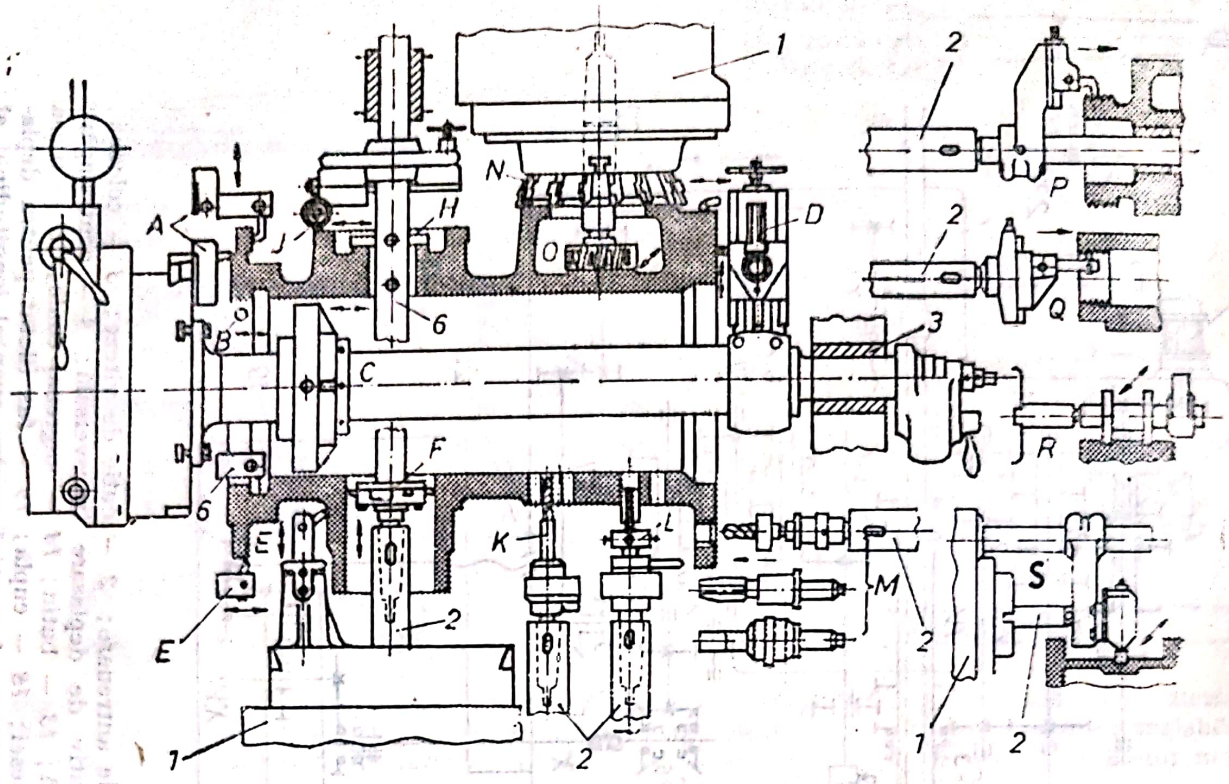


Fig. 8.69. Posibilităţile de prelucrare pe maşinile de găurit şi alezat orizontale: *1* — capul maşinii de găurit şi alezat; *2* — arborele principal; *3* — contralagăr; *A* — strunjire transversală; *B* — degajare interioară; *C* — alezare cu cuţit zburător; *D* — strunjire; *E* — strunjire exterioară; *F* — alezare cu cap de alezat; *G* — adîncire; *H* — lamare; *J* — strunjire frontală; *K* — găurire cu burghiu spiral; *L* — filetare cu tarod; *M* — găurire, alezare, filetare; *N* — frezare plană; *O* — frezare plană; *P* — filetare exterioară cu cuţit zburător; *Q* — filetare interioară cu cuţit zburător; *R* — frezare cu freza cilindrică; *S* — frezare cu freză deget.

8.3.4.5. **Maşini de găurit şi alezat.** Alezarea este o operaţiune de finisare, prin care se caută îmbunătăţirea preciziei dimensionale, a formei geometrice şi a calităţii suprafeţei. Precizia obţinută corespunde treptei IT 6 — IT 8, iar rugozitatea este de 0,4—3,2 μm.

Pentru dimensiuni mici şi mijlocii se folosesc alezoare clasice, cu mai multe muchii tăietoare pe partea laterală a suportului cilindric, totdeauna în număr par, acţionate manual sau mecanic (fig. 8.66). Alezoarele pot fi fixe sau reglabile, cu muchii tăietoare drepte sau înclinate. Alezajele de dimensiuni mari se prelucrează pe maşini de găurit şi alezat cu cuţite zburătoare sau capete de alezat (fig. 8.67). Maşinile foarte complexe (fig. 8.68) permit ca într-o singură prindere a piesei, datorită posibilităţilor multiple de poziţionare a piesei şi a sculelor, să se efectueze diferite prelucrări corelate între ele. În figura 8.69 se prezintă un exemplu de prelucrare a unei piese cu un alezaj principal şi o multitudine de alte suprafeţe plane, filetate etc.

8.3.5. Prelucrarea prin rectificare. Maşini de rectificat

De obicei, prelucrarea prin rectificare este o operaţie de finisare care asigură suprafeţelor prelucrate o calitate ridicată, îmbunătăţind în acelaşi timp şi precizia dimensională. Aceste rezultate se obţin datorită, în

primul rînd, sculei, *a pietrei de rectificat*, pe a cărei suprafață de lucru se găsesc o mulțime de granule abrazive, disiminate în toată masa pietrei, fiecare granulă avînd cel puțin o muchie tăietoare (fig. 8.70). Lucrînd întocmai ca o freză, cu partea cilindrică sau frontală, dar avînd un număr foarte mare de muchii tăietoare, așchia este de dimensiuni microscopice, cu un efect favorabil asupra calității prelucrării. Se pot rectifica toate tipurile de suprafețe generate prin alte procedee, ca de ex. suprafețe plane, cilindrice exterioare, interioare, filetate, danturi.

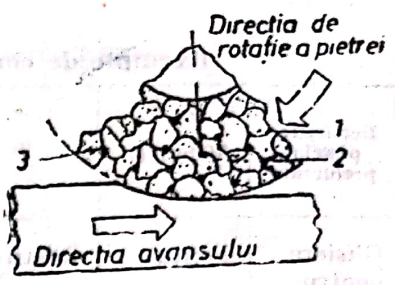


Fig. 8.70. Structura pietrelor abrazive: *1* — granule abrazive; *2* — liant; *3* — pori.

Adaptarea sculei la procesul de rectificare, în afară de formă, se face prin alegerea corectă a celorlalți parametri cum sînt: tipul liantului, natura granulelor abrazive, dimensiunea medie a granulelor abrazive, duritatea pietrei abrazive. Alegerea corectă a pietrei abrazive pentru o lucrare dată cere multă experiență și de aceea fabricile producătoare furnizează și recomandări de utilizare. În tabelul 8.6 se prezintă un extras din recomandările făcute de Uzinele Carbochim Cluj pentru utilizarea pietrelor abrazive fabricate de ea.

Deoarece pietrele abrazive, nefiind destul de omogene, se uzează neuniform dăunînd calității prelucrării, se îndreaptă prin ascuțire. Îndreptarea se poate face prin strunjire cu diamant, prin rectificare cu pietre abrazive, sau cu discuri metalice gofrate (fig. 8.71).

Pietrele de rectificat, lucrînd cu turații ridicate, pentru a putea realiza vitezele periferice de ordinul metrilor pe secundă, trebuie bine echilibrate și fixate pe suport. În figura 8.72 se prezintă diferite moduri de fixare a pietrelor de rectificat, monolitice sau din segmenți și cîteva tipuri de pietre abrazive. În toate cazurile se impune o echilibrare dinamică a lor și, în același timp, o asigurare împotriva tendinței de desprindere și o protecție împotriva efectelor unei eventuale ruperi a pietrei abrazive (explozie).

8.3.5.1. Prelucrarea suprafețelor plane prin rectificare și mașini de rectificat plan. Prelucrarea acestor suprafețe se poate face, fie cu suprafața laterală (cilindrică) a pietrei, fie cu partea frontală. Pentru recti-

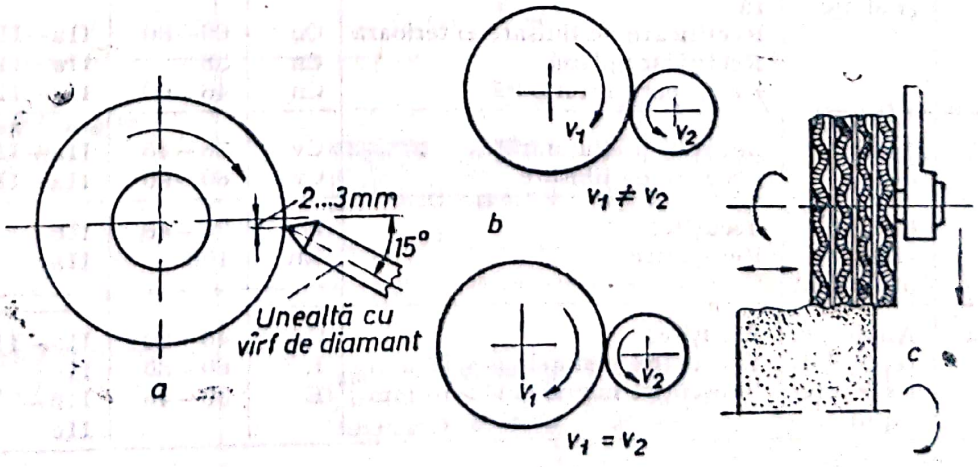


Fig. 8.71. Metode de îndreptare și ascuțire a pietrelor abrazive: *a* — cu diamant; *b* — cu pietre abrazive; *c* — cu discuri metalice gofrate.

Scanned with OKEN Scanner

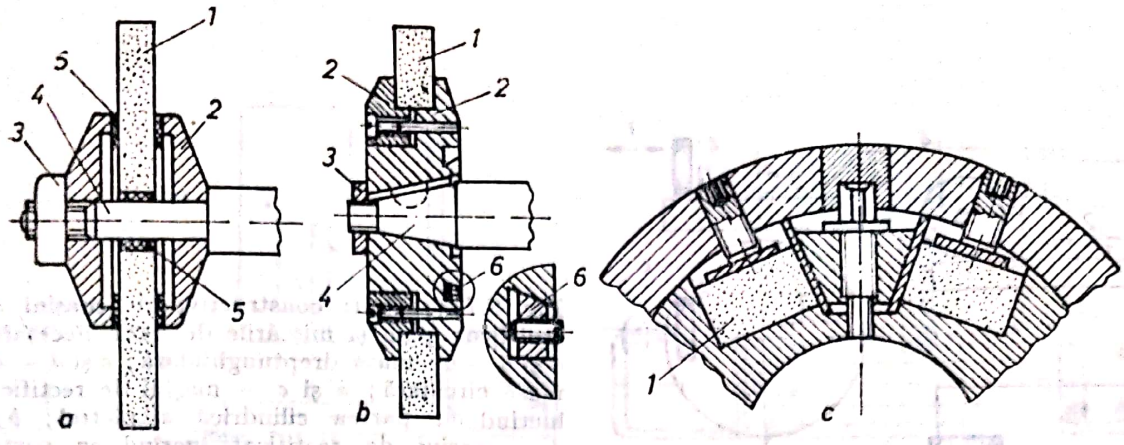
Tabel 8.6

Exemple de corpuri abrazive utilizate la diferite prelucrări

Denumirea pieselor prelucrate	Materialul	Prelucrarea	Material abraziv	Granulaţie	Duritatea	Liant
Glisiere pentru maşini unelte	Fonta	Rectificare plană preliminară	Cn En	24—36	IIb—IIc	B
Arbori pentru maşini unelte	Oţel netratat	Rectificare exterioară circulară	E	46—60	IIb—IIIa	C
	Oţel tratat termic	Rectificare exterioară circulară	E	46—60	IIa—IIb	C
Arbori cotiţi pentru automobile	Oţel netratat	Degroşarea arborilor	E	16—24	IIIb—IIIc	B—C
	Oţel tratat termic	Rectificarea preliminară a arborilor	E	46—60	IIc—IIa	C
		Rectificare de finisare a arborilor	E	36	IIIb—IIIc	C
		Rectificarea de finisare a palierelor	E	46—60	IIa—IIIa	C
Bloc motor	Fontă cenuşie	Rodare — honuire	Cn	120—150	IIc	C
Scaunul supapelor	Stelit	Rectificare de finisare	En	120—150	Ic	C
Bucşe	Oţel tratat Fonta	Rectificare de finisare exterioară	E	46—60	IIb—IIc	C
		Rectificare exterioară fără vîrfuri	Cn	36—46	IIc—IIIa	C
		Rectificare interioară	Cn	36—46	IIa—IIb	C
Bronz (piese de —)	Bronz moale	Rectificare circulară exterioară	Cn	36	IIa—IIb	C
	Bronz moale	Rectificare plană cu partea frontală a pietrei	Cn	16—24	IIa—IIb	B
	Bronz dur	Rectificare exterioară circulară	E	46	IIb	C
Aluminiu (piese de —)	Aluminiu şi aliaje	Rectificare preliminară exterioară	Cn	36—46	Ia—IIb	C
		Rectificare de finisare exterioară	Cn	60—80	IIa—IIb	C
		Rectificare plană	Cn	36	IIa—IIb	C
		Rectificare interioară	Cn	46—60	IIa—IIb	C
Cuţit de strung	Aliaje dure	Ascuţire preliminară	Cv	36—46	IIa—IIb	C
		Ascuţire de finisare	Cv	60—90	IIa—IIb	C
Freză	Oţel de scule şi oţel rapid	Ascuţire	E	36—46	IIc	B
		Reascuţire	En	100	IIa	C
Burghiu	Aliaje dure, oţel de scule, oţel rapid	Ascuţire	Cv	46—80	IIa—IIb	C
		Reascuţire manuală Ø<10 mm	E	60—80	IIc	C
		Reascuţire manuală Ø>10 mm	E	36—46	IIb—IIc	C

E — electrocorindon
Cn — carbură de siliciu neagră
En — electrocorindon nobil
Cv — carbură de siliciu verde
C — ceramic
B — bachelită

Scanned with OKEN Scanner



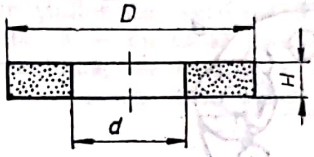
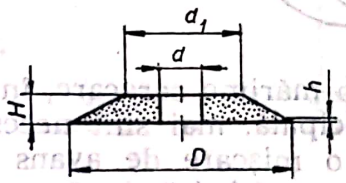
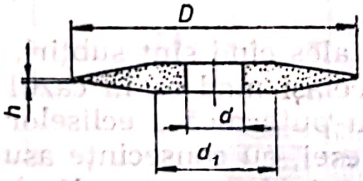
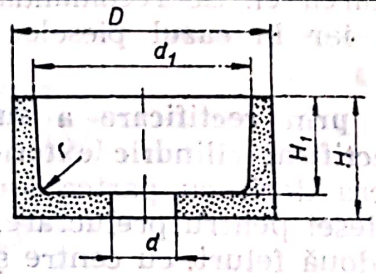
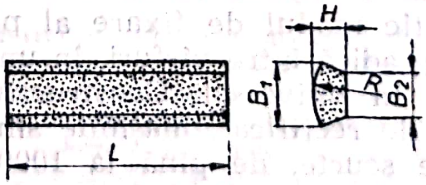
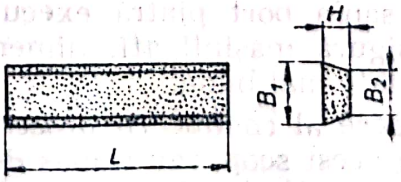
Denumirea	Forma	Standard STAS
Piatră cilindrică plană		601 - 75
Piatră conică plană Tip I		603 - 76
Piatră conică Tip II		603 - 76
Piatră oală Tip 1		604 - 76
Piatră segment Tip II		2639 - 69
Piatră segment Tip III		3639 - 75

Fig. 8.72. Fixarea pietrelor abrazive pe arborele port piatră şi exemple de pietre abrazive de diferite forme: *1* — piatra monolitică; *2* — flanşe; *3* — piuliţă; *4* — arbore; *5* — garnitură; *6* — contragreutate; *a, b* — piatră monolitică tip coroană; *c* — piatră compusă din segmenţi.

Scanned with OKEN Scanner

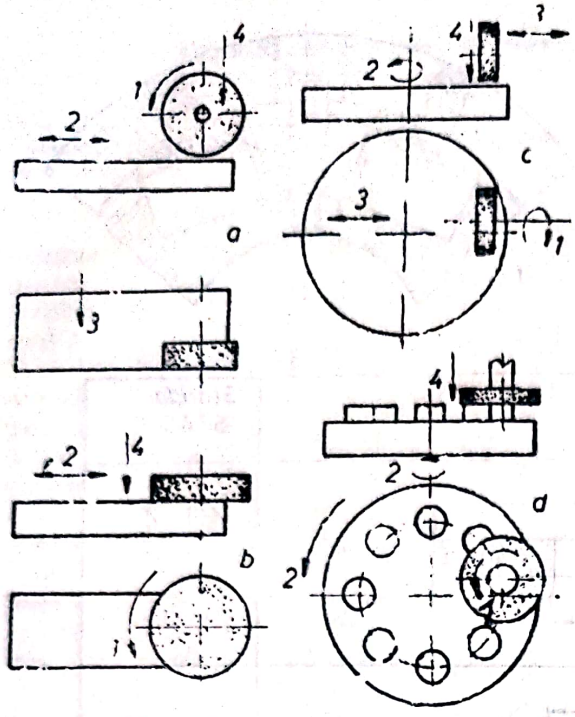


Fig. 8.73. Tipuri constructive de mașini de rectificat plan și mișcările de bază necesare: *a* și *b* — cu masă dreptunghiulară; *c* și *d* — cu masă circulară; *a* și *c* — mașini de rectificat lucrînd cu partea cilindrică a pietrei; *b* și *d* — mașini de rectificat lucrînd cu partea frontală a pietrei; *1* — mișcarea principală de rotație a pietrei; *2* — avans longitudinal (circular) continuu; *3* — avans transversal discontinuu; *4* — avans vertical discontinuu (și de instalare).

ficarea unei suprafețe de o mărime oarecare, în afara mișcării de rotație a pietrei, ca mișcare principală, mai sînt necesare: o mișcare continuă de avans longitudinal și o mișcare de avans transversal, intermitent. Mașinile de rectificat plan se fabrică după mai multe soluții constructive (fig. 8.73).

Prinderea pieselor, mai ales cînd sînt subțiri, pune probleme deosebite. Deși ele se pot fixa în același mod ca în cazul prelucrării prin rabotare sau frezare, apăsarea prea puternică a ecliselor poate provoca deformări elastice importante ale piesei, cu consecințe asupra planeității suprafeței, măsurată după defixarea ei. Se recomandă deci folosirea unui număr mai mare de eclise, iar în cazul pieselor subțiri, prinderea pe mese electromagnetice.

8.3.5.2. **Prelucrarea prin rectificare a suprafețelor cilindrice exterioare și mașini de rectificat cilindric exterior.** În acest caz, pietrele de rectificat nu pot lucra decît cu partea lor cilindrică. Din punctul de vedere al prinderii piesei pentru prelucrare, mașinile de rectificat cilindric exterior sînt de două feluri: cu centre și fără centre de fixare.

8.3.5.2.1. *Mașini de rectificat cilindric exterior.* La acest tip de mașini este caracteristic modul de fixare al piesei, care se face în mod similar ca la strung, adică între vîrfuri, în universal și vîrful din păpușa mobilă, sau numai în universal. Constructiv, în funcție de lungimea maximă a pieselor de rectificat, mașinile sînt de două feluri (fig. 8.74, *a, b*). Pentru piese scurte, de pînă la 1000 mm, masa, împreună cu piesa, execută avansul longitudinal, iar pentru piese mai lungi, se folosesc mașini la care sania port piatră execută și avansul longitudinal. În felul acesta se asigură mașinii atît dimensiuni de gabarit mai proporționale cît și rigiditate mai bună.

Din punctul de vedere al conducerii procesului de rectificare, adaosul de prelucrare lăsat în acest scop, sau rămas de la prelucrarea anterioară, se poate îndepărta după diferite scheme de lucru (fig. 8.75, *a, b, c, d*). Cea mai des folosită este rectificarea cu avans longitudinal continuu.

Scanned with OKEN Scanner

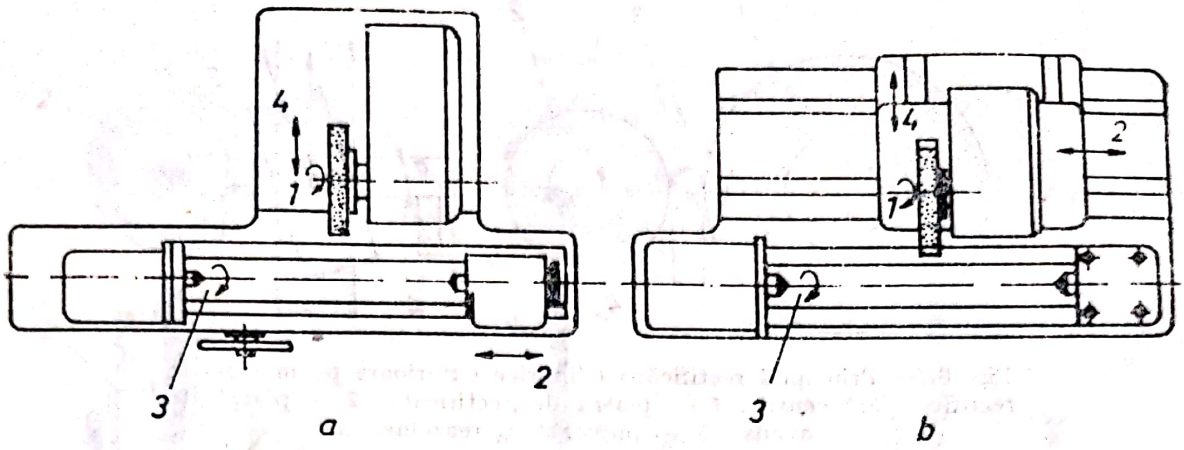


Fig. 8.74. Tipuri constructive ale maşinilor de rectificat cilindric exterior cu centre şi mişcările de bază: *a* — cu masă mobilă; *b* — cu masă fixă, pentru piese grele cu lungimi de peste 1000 mm; *1* — mişcarea principală, de rotaţie a pietrei; *2* — avans longitudinal; *3* — avans circular; *4* — avans transversal (şi de instalare).

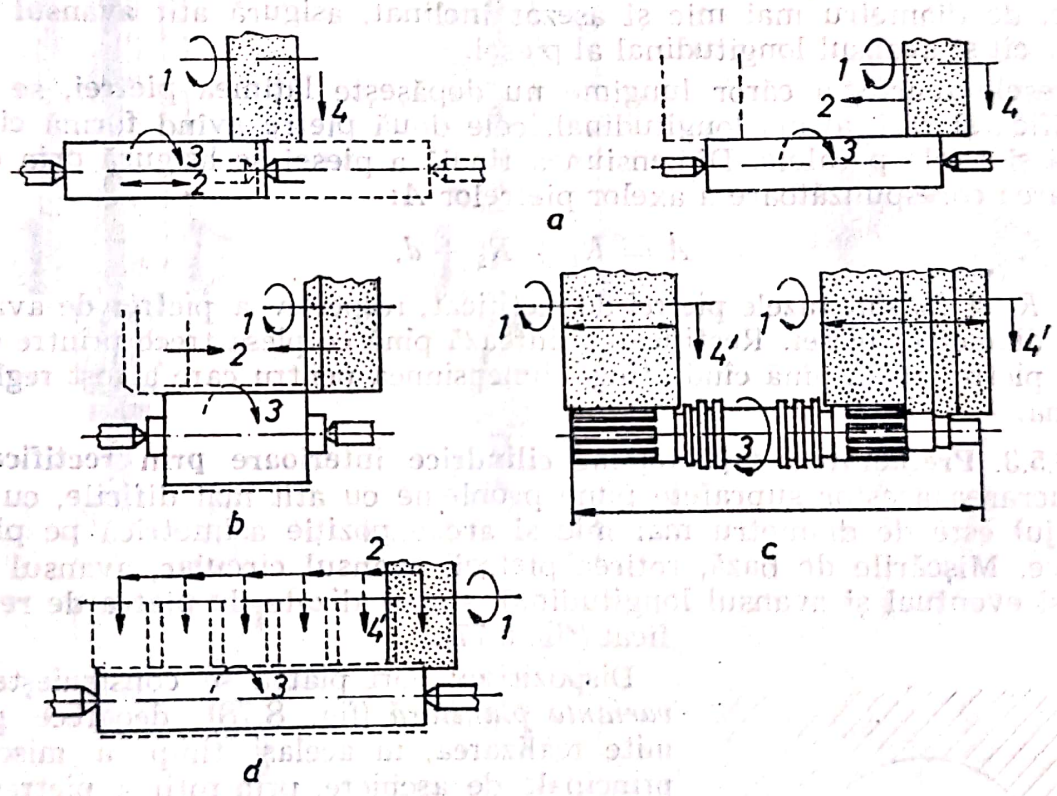


Fig. 8.75. Metode de prelucrare prin rectificare între vîrfuri a suprafeţelor cilindrice exterioare. *a* — avans longitudinal continuu şi avans transversal intermitent; *b* — avans longitudinal continuu cu piatra instalată pentru tot adaosul de prelucrare: *c* — cu avans transversal continuu; *d* — cu avans longitudinal intermitent (de instalare) şi avans transversal continuu; *1* — mişcarea principală de rotaţie, a pietrei; *2* — avans longitudinal; *3* — avans circular; *4* — avans transversal intermitent; *4'* — avans transversal continuu.

eventual cu mai multe treceri succesive, cînd adaosul de prelucrare nu se poate îndepărta printr-o singură trecere. Se pot rectifica şi suprafeţe conice prin rotirea mesei în plan orizontal cu un unghi egal cu semiunghiul la vîrf al conului.

8.3.5.2.2. *Maşini de rectificat fără centre*. Piesa de prelucrat, avînd capetele libere, se sprijină pe toată lungimea sa pe reazeme, iar în zona de

Scanned with OKEN Scanner

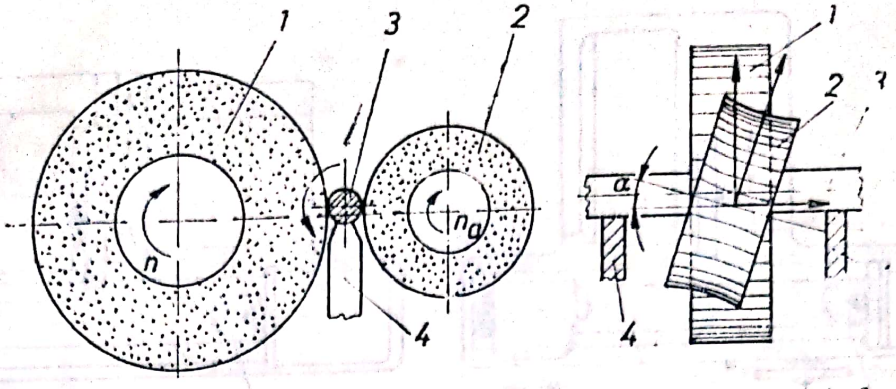


Fig. 8.76. Principiul rectificării cilindrice exterioare pe mașini de rectificat fără centre: *1* — piatră de rectificat; *2* — piatră de avans; *3* — piesa; *4* — reazeme.

rectificare pe două pietre abrazive (fig. 8.76), din care una este cilindrică, de diametru mare, cu axa paralelă cu axa piesei și realizează rectificarea, în timp ce piatra a doua cu profil de hiperboloid de revoluție, de diametru mai mic și așezat înclinat, asigură atît avansul circular cît și avansul longitudinal al piesei.

Piesele scurte, a căror lungime nu depășește lățimea pietrei, se pot rectifica și fără avans longitudinal, cele două pietre avînd formă cilindrică și axele paralele. Dimensiunea finală a piesei se asigură prin distanțarea corespunzătoare a axelor pietrelor A:

$$A = R_1 + R_2 + d,$$

unde R_1 și R_2 sînt razele pietrei de rectificat, respectiv a pietrei de avans, iar d diametrul piesei. Rectificarea durează pînă ce piesa trece printre cele două pietre, adică pînă cînd atinge dimensiunea pentru care a fost reglată mașina.

8.3.5.3. **Prelucrarea suprafețelor cilindrice interioare prin rectificare.** Prelucrarea acestor suprafețe pune probleme cu atît mai dificile, cu cît alezajul este de diametru mai mic și are o poziție asimetrică pe piese masive. Mișcările de bază, rotirea pietrei, avansul circular, avansul radial și eventual și avansul longitudinal, sînt realizate de piatra de rectificat (fig. 8.77).

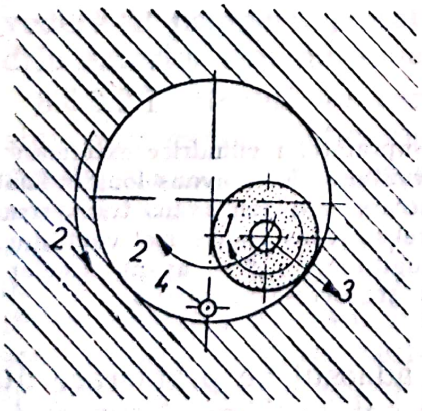


Fig. 8.77. Principiul rectificării interioare: *1* — mișcarea principală, de rotație a pietrei; *2* — avans circular; *3* — avans radial; *4* — avans longitudinal.

Dispozitivul port piatră se construiește în *varianta planetară* (fig. 8.78), deoarece permite realizarea, în același timp, a mișcării principale de așchiere, prin rotirea pietrei, a avansului circular continuu, prin rotirea tamburului exterior *3* în capul *4* al mașinii și a avansului radial discontinuu, prin modificarea excentricității rezultante a arborelui principal rotind tamburul interior *2* în alezajul excentric al tamburului exterior *3*. Excentricitatea rezultantă e (necesară rectificării alezajului cu raza R, folosind o piatră cu raza r) poate fi reglată între două limite: $e_{max} = E_3 + E_2$ și $e_{min} = E_3 - E_2$, unde E_2 este excentricitatea așezării arborelui principal *1* în tamburul interior *2*, iar E_3 este excen-

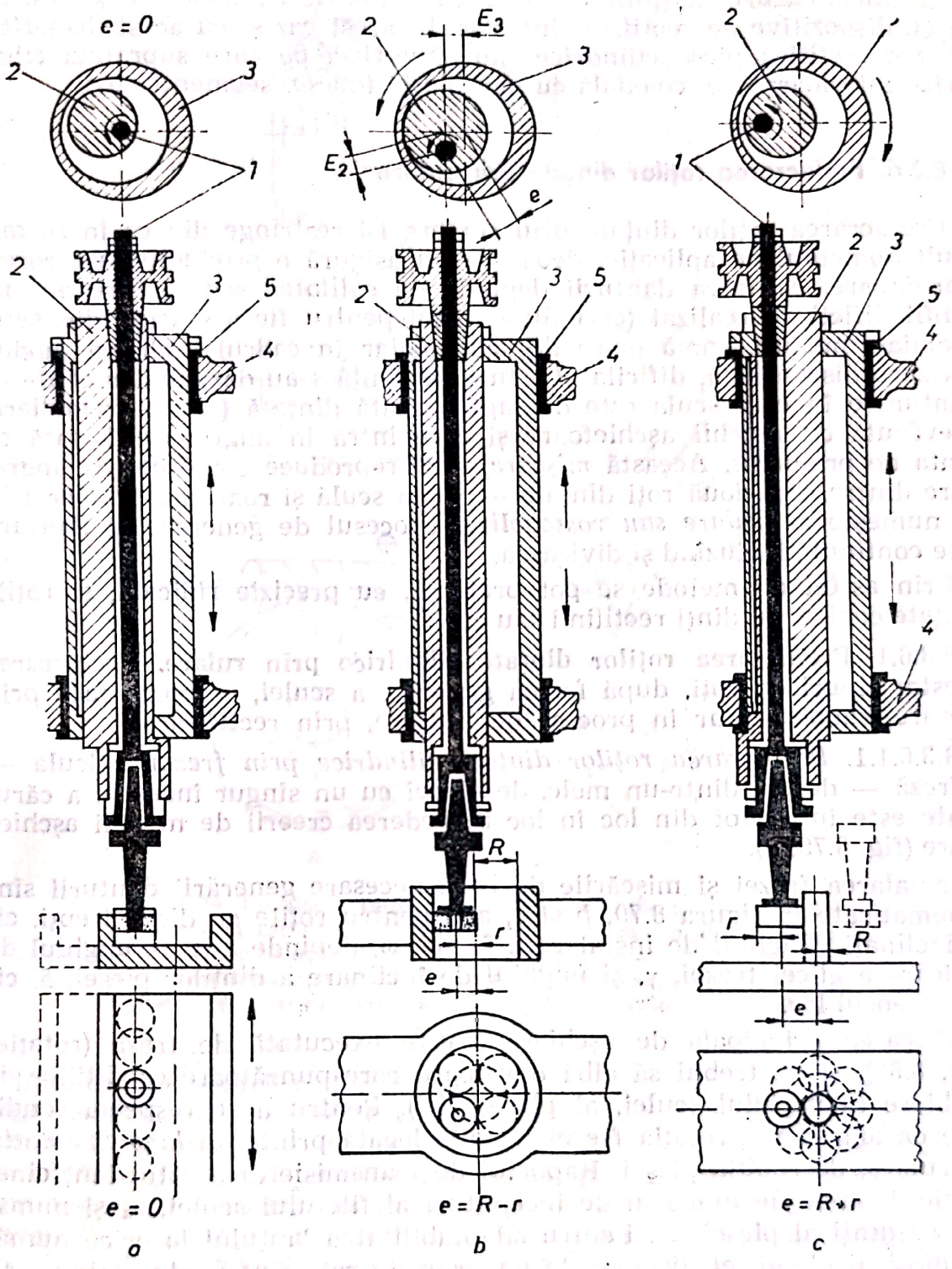


Fig. 8.78. Dispozitiv planetar port piatră pentru rectificat: *1* — arbore port piatră; *2* — tambur interior; *3* — tambur exterior (pentru avans circular); *4* — capul mașinii de rectificat; *5* — lagărele tamburului exterior; *a* — rectificare plană (avans circular zero); *b* — rectificare interioară; *c* — rectificare exterioară.

tricitatea așezării tamburului interior *2* în tamburul exterior 3. (fig. 8.78, *b*).

Mașinile, constructiv pot fi cu arborele pietrei de rectificat în poziție orizontală, destinate rectificării alezajelor de dimensiuni mari, sau cu arborele vertical.

Scanned with OKEN Scanner

În unele cazuri, mașinile de rectificat cilindric exterior sînt prevăzute și cu dispozitive de rectificat interior. În acest caz și cu acest dispozitiv se pot rectifica piese cilindrice sau simetrice, pe care suprafața cilindrică interioară este coaxială cu axa piesei (bucșe, segmenți etc.).

8.3.6. Prelucrarea roților dințate prin rulare

Prelucrarea roților dințate prin copiere își restrînge din ce în ce mai mult domeniul de aplicație, deoarece nu asigură o productivitate corespunzătoare, calitatea danturii depinde de calitatea sculei, care are un profil dificil de realizat (cerîndu-se altul pentru fiecare sculă din setul aceluiași modul), gamă mare de scule chiar în cadrul aceluiași modul, divizare discontinuă, dificilă etc. În consecință s-au dezvoltat metode de danturare în care scula este de fapt o roată dințată (sau o cremalieră) prevăzută cu muchii așchietoare și care intră în angrenare forțată cu roata de prelucrat. Această *mișcare,* care reproduce condițiile de angrenare dintre cele două roți dințate — roata sculă și roata de prelucrat — se numește *de rulare sau rostogolire*. Procesul de generare al danturii este continuu, incluzînd și divizarea.

Prin astfel de metode se pot prelucra, cu precizie ridicată, și roțile dințate conice, cu dinți rectilinii sau curbi.

8.3.6.1. **Prelucrarea roților dințate cilindrice prin rulare.** Prelucrarea acestor tipuri de roți, după forma generală a sculei, se poate face prin frezare, rabotare, iar în procese de finisare, prin rectificare.

8.3.6.1.1. *Prelucrarea roților dințate cilindrice prin frezare.* Scula — o freză — derivă dintr-un melc, de obicei cu un singur început, a cărui dinte este întrerupt din loc în loc în vederea creerii de muchii așchietoare (fig. 8.79, *a*).

Instalarea frezei și mișcările de bază necesare generării danturii sînt schematizate în figura 8.79, *b* și *c*, atît pentru roțile cu dinți drepți, cît și înclinați. Unghiul de instalare a frezei, ω, depinde atît de unghiul de ridicare a elicei frezei, γ, și unghiul de înclinare a dinților piesei, β, cît și de sensul lor.

Mișcarea principală de așchiere *I* este executată de freză (rotație) (fig. 8.80), și va trebui să aibă o valoare corespunzătoare condițiilor de așchiere (materialul sculei, al piesei etc.). Pentru a se respecta condițiile de angrenare, rotația frezei trebuie legată printr-un *lanț cinematic,* de rulare, de rotația piesei. Raportul de transmisie al acestui lanț cinematic depinde de numărul de începuturi ai filetului sculei, z_s și numărul de dinți ai piesei, z_p. Pentru adaptabilitatea lanțului la orice număr de dinți ai piesei, el dispune de un grup de roți dințate de schimb, A_2, B_2, montabile pe o liră, numită de divizare.

Avansul vertical *III*, s_v, executat de sculă trebuie raportat la o rotație a piesei și în consecință, un alt lanț cinematic leagă rotația piesei de mecanismul de avans — fus filetat, piuliță — al capului port sculă. La mașinile moderne, un automat de avans *C.A.* permite instalarea corespunzătoare a mărimii avansului vertical.

Avansul radial, *V*, s_r, servește ca mișcare de instalare și reglare a adîncimii de așchiere.

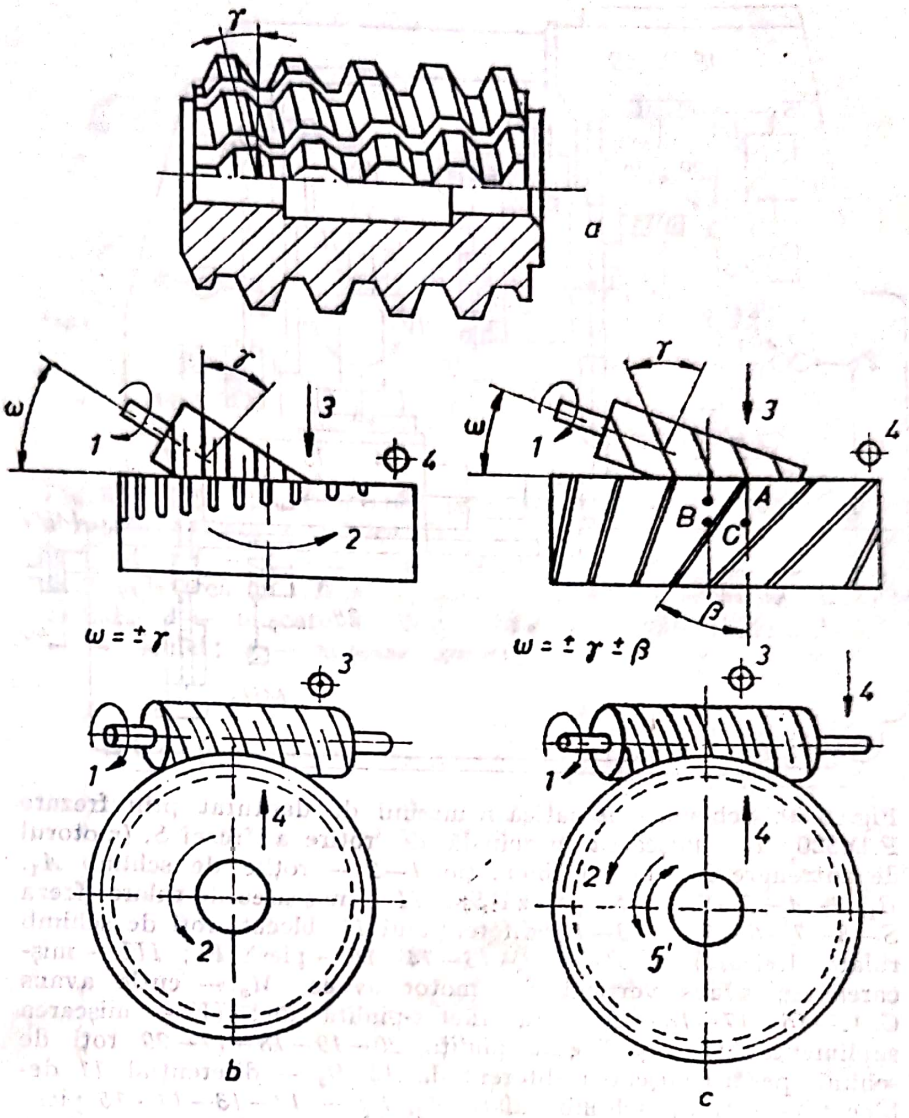


Fig. 8.79. Instalarea frezei melcate și mișcările de bază pentru prelucrarea roților dințate cilindrice: *a* **— freza melcată;** *b* **— pentru roți cu dinți drepți;** *c* **— pentru roți cu dinți înclinați;** *1* **— mișcarea principală de așchiere;** *2* **— avansul circular al piesei;** *3* **— avans vertical;** *4* **— avans radial;** *5* **— mișcare suplimentară.**

În cazul prelucrării roților dințate cu dinți înclinați, pentru a menține zona de prelucrat în poziție corespunzătoare față de freză, în afară de mișcarea de rulare, mai este nevoie și de o *mișcare suplimentară a piesei, IV*, care este determinată de pasul elicei pe care se înscrie dintele piesei și trebuie astfel calculată, ca la un avans vertical egal cu pasul elicei, P, piesa să se rotească suplimentar cu o rotație completă. Cum pasul elicei depinde de modulul, numărul de dinți ai roții z_p și unghiul de înclinare al dinților β, formula de dimensionare a lanțului cinematic pentru mișcarea suplimentară, care se reglează tot prin roți dințate de schimb, A_3, B_3, va avea următoarea formă:

$$\frac{A_3}{B_3} = C\,\frac{\sin\beta}{\pi \cdot m}.$$

Suprapunerea și amestecarea, compunerea celor două mișcări — de rulare și cea suplimentară — se realizează prin intermediul unui mecanism diferențial, care în acest caz este deblocat.

Scanned with OKEN Scanner

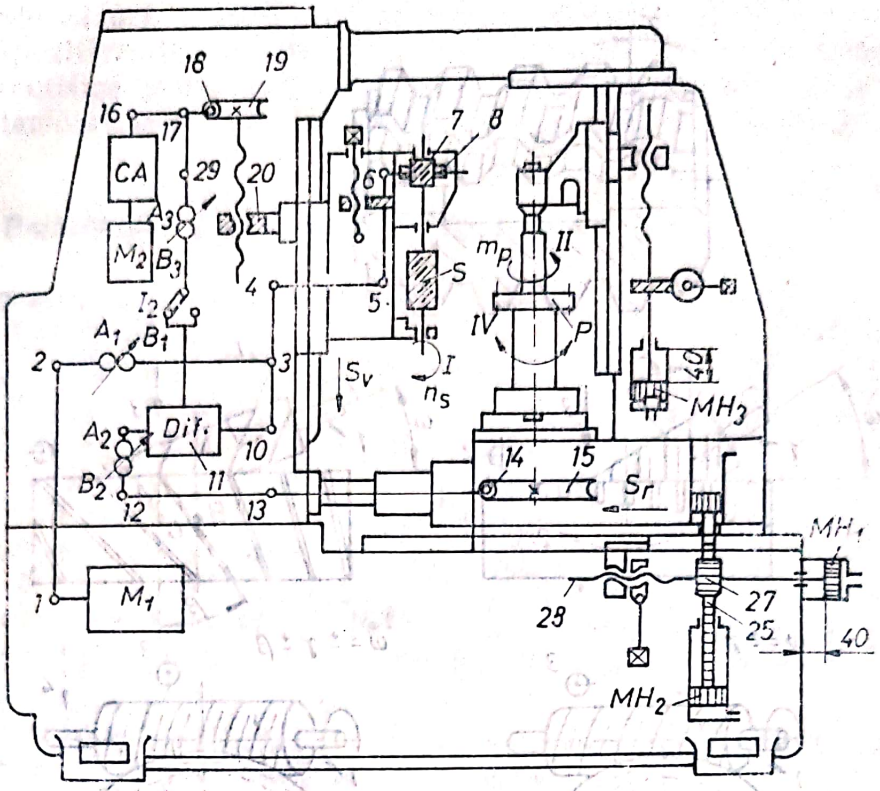


Fig. 8.80. Schema cinematică a maşinii de danturat prin frezare F.D.320: *I* — mişcarea principală de rotire a frezei *S*, (motorul de antrenare M_1, lanţul cinematic *1—2* — roţile de schimb A_1, B_1, *3—4—5—6—7—8* — freză *S*); *II* — mişcarea de rulare (freza *S—8—7—6—5—4—3—10* diferenţialul *11* blocat, roţi de schimb rulare (divizare) A_2, B_2 — *12—13—14—15* — piesă *P*); *III* — mişcarea de avans vertical S_v (motor avans M_2 — cutie avans *C.A.—16—17—18—19* — fus filetat-piuliţă *20*); *IV* — mişcarea suplimentară: (fus filetat piuliţă *20—19—18—17—29* roţi de schimb pentru mişcarea diferenţială A_3, B_3 — diferenţial *11* deblocat — roţi de schimb rulare A_2, B_2 — *12—13—14—15* piesa *P*); *V* — mişcarea de avans radial *S* (manual fus filetat piuliţă *28* sau hidraulic MH_1); MH_2 şi MH_3 — dispozitive hidraulice pentru mişcări de instalare şi de fixare a semifabricatului.

Pe acest tip de maşini de frezat nu se pot prelucra decît roţi cu dantură exterioară.

8.3.6.1.2. *Prelucrarea roţilor dinţate cilindrice prin rabotare, cu cuţit roată dinţată disc.* Cuţitul, o roată dinţată cilindrică, se obţine prin ascuţirea acesteia pe una din feţele sale frontale. Mişcările de bază necesare generării continui a danturii sînt arătate în figura 8.81. Pentru realizarea roţilor cu dinţi înclinaţi, pe lîngă mişcarea de angrenare forţată (rulare) cu raportul z_s/z_p, trebuie să se efectueze şi o mişcare suplimentară *5*, preluată în acest caz de sculă. În acest scop scula va trebui să fie cu dinţi înclinaţi, cu acelaşi unghi, însă în sens invers, şi va fi rotită de către o camă montată pe tija port sculă. Tija port sculă execută şi mişcarea principală de aşchiere *1*.

Datorită dimensiunilor sculei, a modului de antrenare, pe aceste maşini se pot realiza şi danturări interioare şi blocuri monolitice de roţi dinţate în construcţie foarte strînsă.

Maşina reprezentativă pentru acest mod de prelucrare este maşina de mortezat danturi cu cuţit-roată tip MD-250, fabricat la U.M. Cugir (fig. 8.82). Mişcarea principală de aşchiere este produsă de motorul electric de

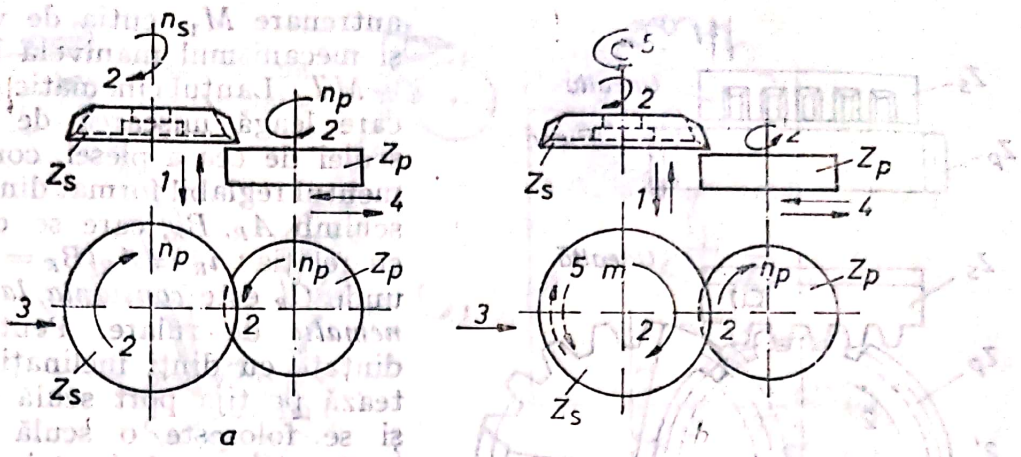


Fig. 8.81. Principiul prelucrării prin mortezare cu cuțit roată dințată, a roților dințate cilindrice: *a* — cu dinți drepți; *b* — cu dinți înclinați: *1* — mișcarea principală de așchiere, de mortezare; *2* — mișcarea de rulare executată de sculă și piesă; *3* — avans radial; *4* — mișcare de desprindere în timpul cursei în gol a sculei; *5* — mișcare diferențială executată de sculă.

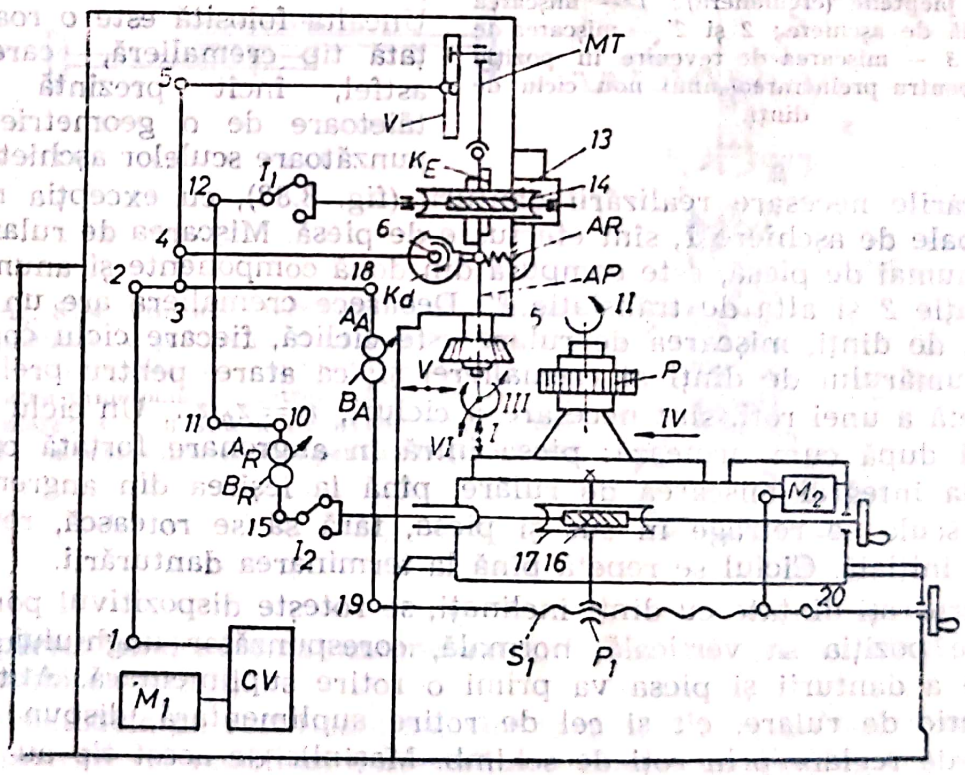


Fig. 8.82. Schema cinematică a mașinii de danturat prin mortezare cu cuțit roată dințată: *I* — mișcarea principală de așchiere (motor M_1 — cutie de viteze *CV*—*1*—*2*—*3*—*4*—*5* — mecanism manivelă bielă *V*—*MT* — Scula *S*); *II* și *III* — mișcarea de rulare (piesa *P*—*17*—*16*—*15* — roțile de schimb pentru rulare (divizare) A_R, B_R — *10*—*11*—*12*—*13*—*14* — scula *S*); *IV* — mișcarea de avans radial (M_1—*CV*—*1*—*2*—*3*—*18* — roțile de schimb A_A, B_A — *19* — fus filetat piuliță S_1—P_1); *V* — mișcarea de retragere a sculei în timpul cursei în gol (M_1—*C.V*—*1*—*2*—*3*—*4*—*6* — camă *Kd* — palpator și arc *AR* — arborele principal *AP*); *VI* — mișcarea diferențială pentru prelucrarea roților dințate cu dinți înclinați prin cama *KE* montată pe arborele principal *AP*.

Scanned with OKEN Scanner

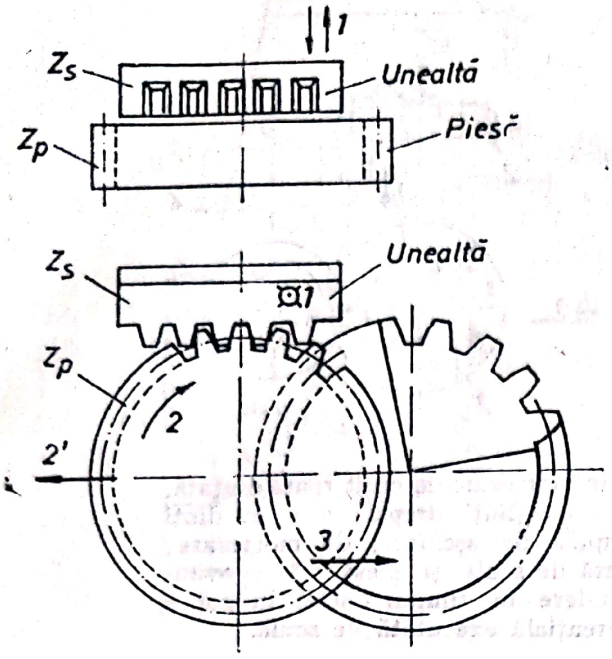


Fig. 8.83. Principiul danturării prin mortezare cu cuțit pieptene (cremalieră): *1* — mișcarea principală de așchiere; *2* și *2'* — mișcarea de rulare; *3* — mișcarea de revenire în poziție inițială pentru prelucrarea unui nou ciclu de dinți.

antrenare M_1, cutia de viteze CV și mecanismul manivelă bielă V—MT. Lanțul cinematic de rulare, care leagă mișcarea de rotație a sculei de cea a piesei, conține elementul reglabil format din roțile de schimb A_R, B_R, care se calculează cu relația: $i_R = A_R/B_R = C_R \cdot z_s/z_p$, unde C_R este *constanta lanțului cinematic* de rulare. Pentru roțile dințate cu dinți înclinați se montează pe tija port sculă cama K_E și se folosește o sculă cu dinți înclinați în mod simetric. Celelalte elemente ale schemei cinematice servesc pentru instalare, desprinderea sculei în timpul cursei în gol, avans radial etc.

8.3.6.1.3. *Prelucrarea roților dințate cilindrice cu cuțit cremalieră.* Unealta folosită este o roată dințată tip cremalieră, care este astfel, încît prezintă muchii tăietoare de o geometrie corespunzătoare sculelor așchietoare.

Mișcările necesare realizării danturii (fig. 8.83), cu excepția mișcării principale de așchiere *1*, sînt efectuate de piesă. Mișcarea de rulare, preluată numai de piesă, este compusă din două componente și anume: una de rotație *2* și alta de translație *2'*. Deoarece cremaliera are un număr limitat de dinți, mișcarea de rulare este ciclică, fiecare ciclu corespunzînd numărului de dinți ai cremalierei și, ca atare, pentru prelucrarea completă a unei roți, sînt necesare n cicluri, $n = z_p/z_s$. Un ciclu se desfășoară după cum urmează: piesa intră în angrenare forțată cu piesa și preia integral mișcarea de rulare, pînă la ieșirea din angrenare cu scula, scula se retrage în sus și piesa, fără să se rotească, revine în poziție inițială. Ciclul se repetă pînă la terminarea danturării.

Pentru roți dințate cu dinți înclinați, se rotește dispozitivul port sculă față de poziția sa verticală, normală, corespunzător unghiului de înclinare a danturii și piesa va primi o rotire suplimentară. Atît lanțul cinematic de rulare, cît și cel de rotire suplimentară, dispun de elemente de reglare prin roți de schimb. Mașinile de acest tip au scheme cinematice complexe, cu automate de comandă.

Ca și în cazul mașinilor de frezat nu se pot realiza astfel decît danturări exterioare. Sînt însă mai productive, asigură o calitate mai bună danturării și pot fi prelucrate și grupuri monolitice de roți în construcție foarte strînsă.

8.3.6.1.4. *Prelucrarea roților dințate cilindrice prin rectificare.* Pentru rectificare, în fază de finisare, se folosesc discuri abrazive cu granulație fină, care, pentru a asigura calitate ridicată prelucrării, se ascut la intervale foarte scurte, chiar pe mașina pe care lucrează, grosimea stratu-

Scanned with OKEN Scanner

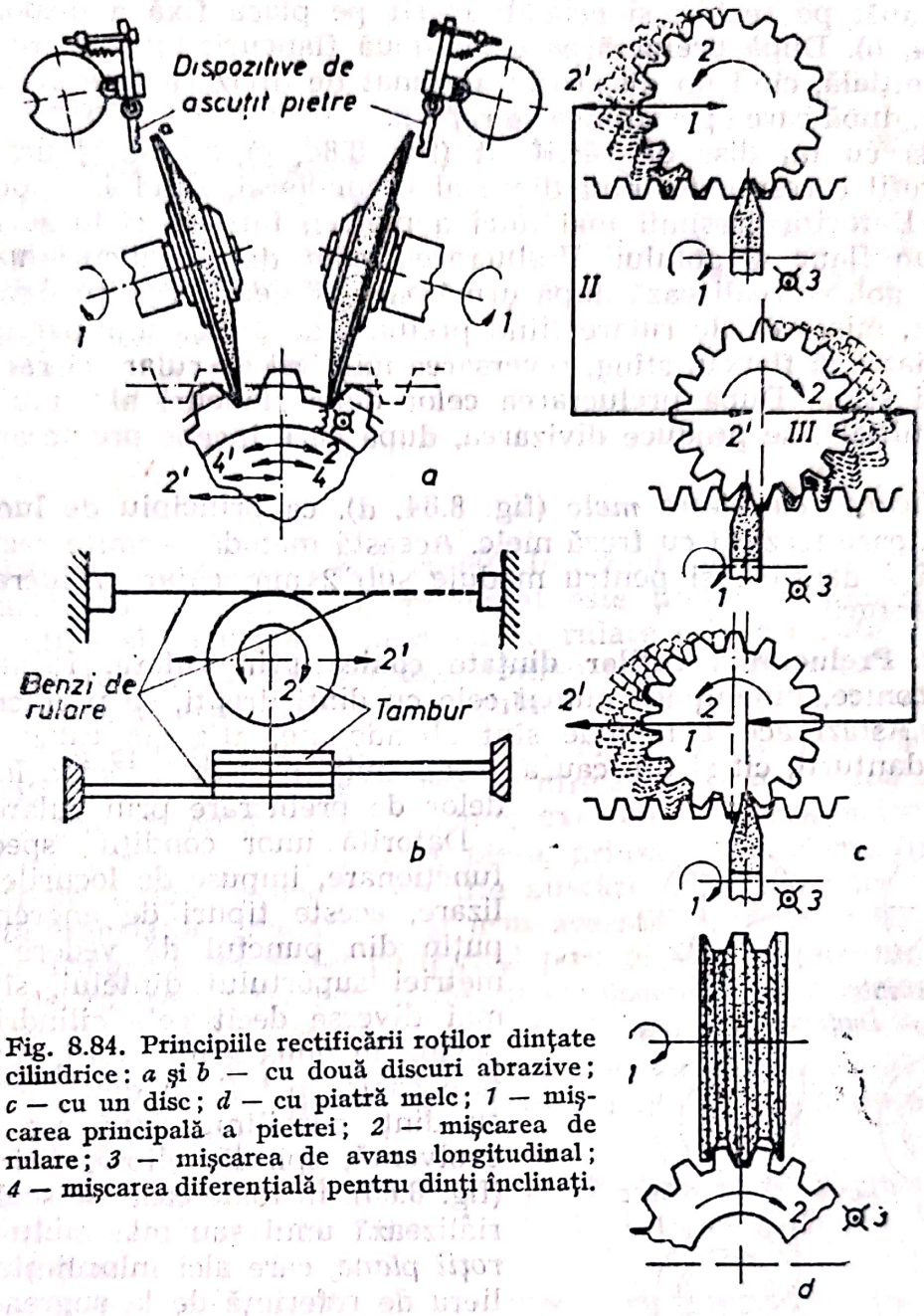


Fig. 8.84. Principiile rectificării roților dințate cilindrice: *a* și *b* — cu două discuri abrazive; *c* — cu un disc; *d* — cu piatră melc; *1* — mișcarea principală a pietrei; *2* — mișcarea de rulare; *3* — mișcarea de avans longitudinal; *4* — mișcarea diferențială pentru dinți înclinați.

lui îndepărtat fiind automat compensat printr-o poziționare corespunzătoare (apropiere cu ΔR).

Toate metodele de rectificare folosite în prezent au la bază principiul rulării, pietrele de rectificat materializînd flancurile dinților cremalierei de referință (fig. 8.84, *a*, *c*), sau un melc.

Metoda cu două discuri abrazive (fig. 8.84, *a*) are avantajul finisării simultane a două flancuri, care, în funcție de mărimea modulului, pot să aparțină aceluiași gol, sau la două goluri situate peste n dinți. Pietrele abrazive realizează mișcarea principală de așchiere și, în același timp, materializează flancurile cremalierei de referință, cu care, „angrenează" roata de rectificat. Celelalte mișcări sînt preluate de piesă. Mișcarea de rulare este asigurată de un dispozitiv format dintr-un sector circular (sau tambur), avînd raza egală cu raza cercului de divizare al roții de prelucrat, montat pe arborele acesteia și două benzi de rulare, montate

Scanned with OKEN Scanner

cu un capăt pe sector, și celălalt capăt pe placa fixă a dispozitivului (fig. 8.84, *b*). După prelucrarea celor două flancuri, totul se readuce în poziție inițială, cînd un dispozitiv automat de divizare face divizarea cu un dinte, după care operațiunea se repetă.

Metoda cu un disc de rectificat (fig. 8.84, *c*), folosește un disc, al cărui profil corespunde unui dinte al cremalierei, fiind însă puțin mai subțire. Datorită grosimii mai mici a pietrei, într-un ciclu se rectifică numai un flanc al golului. Prelucrarea celor două flancuri aparținînd aceluiași gol, se realizează după următoarea schemă: rectificarea flancului drept, mișcarea de rulare fiind preluată de piesă, eliminarea jocului dintre piatră și flancul stîng, reversarea mișcării de rulare și rectificarea flancului stîng. După prelucrarea celor două flancuri ale unui gol, în poziție inițială, se produce divizarea, după care începe prelucrarea unui nou gol.

Rectificarea cu pietre melc (fig. 8.84, *d*), ca principiu de lucru, este asemănătoare frezării cu freză melc. Această metodă permite rectificarea continuă a danturii și pentru module sub 2 mm chiar prelucrarea din plin a danturii.

8.3.6.2. **Prelucrarea roților dințate conice prin rulare.** Inițial roțile dințate conice, bineînțeles numai cele cu dinți drepți, se prelucrau prin copiere. Astăzi aceste metode sînt abandonate, atît din cauza calității slabe a danturii, cît și din cauza productivității reduse, făcînd loc metodelor de prelucrare prin rulare.

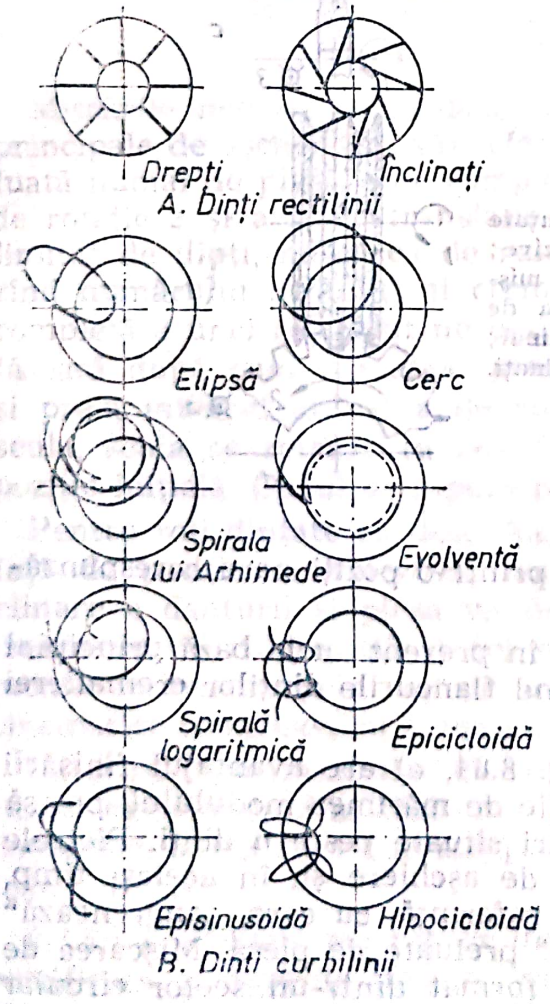


Fig. 8.85. Tipuri de danturi pentru roți conice.

Datorită unor condiții speciale de funcționare, impuse de locurile de utilizare, aceste tipuri de angrenaje, cel puțin din punctul de vedere al geometriei suportului dintelui, sînt mult mai diverse decît cele cilindrice. Împărțite în două grupe mari, roțile dințate conice pot fi cu dinți rectilinii și cu dinți curbilinii, după arc de cerc, evolventă, spirală, elipsă, cicloidă etc. (fig. 8.85). În toate cazurile scula materializează unul sau mai mulți dinți ai *roții plane*, care aici înlocuiește cremaliera de referință de la angrenajele cilindrice.

8.3.6.2.1. *Prelucrarea roților dințate conice cu dinți rectilinii.* Mașinile, destinate prelucrării acestor tipuri de roți, așchiază prin rabotare și în funcție de caracteristicile roții plane se împart în două grupe. De remarcat că între roțile prelucrate pe cele două grupe de mașini nu este compatibilitate de angrenare. Pe ambele grupe de mașini se pot prelucra atît roți conice cu dinți drepți, cît și roți conice cu dinți înclinați.

Angrenajele din prima grupă au roata plană comună cu semiunghiul conu-

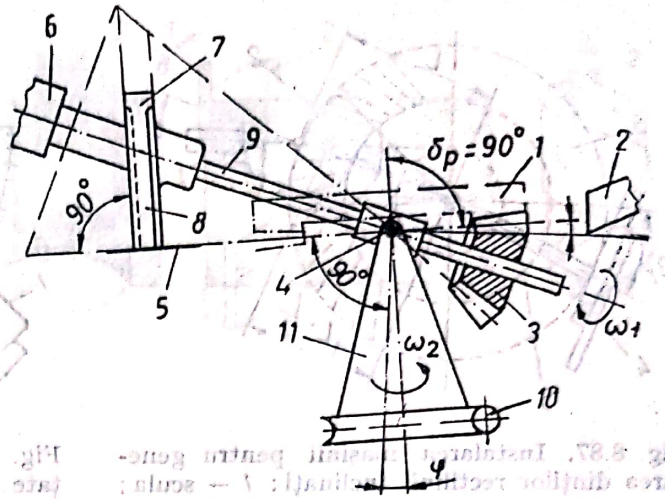


Fig. 8.86. Principiul danturării roților dințate conice cu dinți rectilinii din grupa *I*: *1* — roata plană imaginară; *2* — scula profilată, corespunzînd dintelui roții plane; *3* — piesa; *4* — articulația; *5* — plan de rulare; *6* — dispozitiv de divizare; *7* — segment de rulare; *8* — benzi de rulare; *9* — dorn; *10* — angrenaj de rulare; ω_1 și ω_2 — mișcările de rulare; *11* — suportul dornului *9*.

lui primitiv al roții plane δ_p egal cu 90°. În timpul prelucrării, roata plană „imaginară", cu care roata de prelucrat este ținută în angrenare forțată, este fixă și ca urmare mișcarea de rulare este preluată numai de roata de prelucrat. Ea se compune dintr-o mișcare de rotație în jurul axei sale ω_1 și una de translație circulară ω_2 în jurul axei roții plane.

Schema de principiu a mașinilor din această grupă (fig. 8.86) scoate în evidență și cine și cum se realizează mișcările de bază. Scula *2*, care materializează un dinte al roții plane, execută mișcarea principală de așchiere — rabotare —, în timp ce piesa, prinsă pe un dorn, fixat articulat într-un suport, execută celelalte mișcări. Pentru rulare, suportul realizează translația circulară ω_2 și prin aceasta silește și rotirea piesei cu ω_1, ca urmare a prezenței pe dornul port piesă a segmentului *7* și a benzilor de rulare *8*. Segmentul de rulare are aceiași conicitate ca și conul primitiv al roții ce se prelucrează, iar benzile de rulare sînt prinse, cu un cap de segment și cu celălalt de un plan tangent la conul primitiv al roții plane. Roata se prelucrează dinte cu dinte. După fiecare dinte prelucrat intervine divizarea.

Prelucrarea integrală a unei roți se face în trei etape: degroșarea tuturor dinților; finisarea flancului drept al dinților; finisarea flancului stîng al dinților.

Pentru prelucrarea roților dințate conice cu dinți înclinați, mașina trebuie dezaxată cu E_1, astfel ca drumul descris de cuțit să nu mai conveargă înspre centrul mașinii *O*, ci să fie tangent la un cerc de rază mai mare decît al cercului de divizare de la baza conului de divizare al roții ce se prelucrează (fig. 8.87).

Mașinile din grupa a doua au semiunghiul conului de divizare al roții plane imaginare δ_p egal cu $(90 - \varphi_b)°$, unde φ_b este unghiul corespunzător capului dintelui roții plane. Mișcarea de rulare este efectuată atît de piesă (ω_1), cît și de roata plană imaginară (ω_2). Schema de principiu a mașinii (fig. 8.88) arată că așchierea se face cu două cuțite, printr-o mișcare alternativă de rabotare. Săniile cuțitelor sînt montate într-un cadru, formînd împreună roata plană, care se rotește în jurul axei sale cu ω_2. Piesa se prinde pe un dorn montat în arborele dispozitivului de divizare, cu care împreună, în timpul prelucrării a două flancuri, realizează cealaltă componentă a mișcării de rulare ω_1. După prelucrarea flancurilor unui gol, sau a două flancuri distanțate cu *n* dinți (în cazul

Scanned with OKEN Scanner

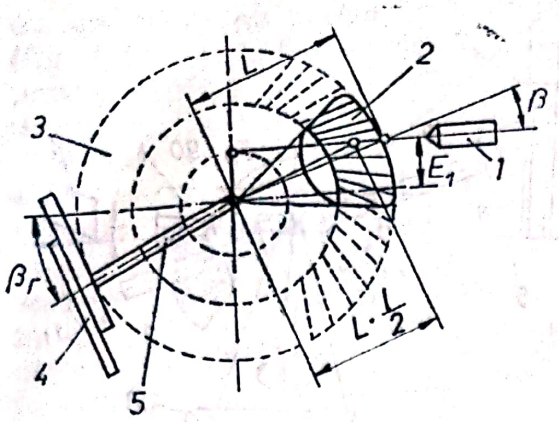


Fig. 8.87. Instalarea maşinii pentru generarea dinţilor rectilinii înclinaţi: *1* — scula; *2* — piesa; *3* — roata plană imaginară; *4* — segmentul cu benzile de rulare; *5* — dorn.

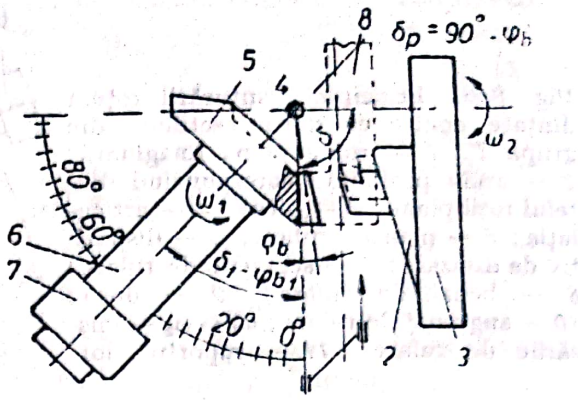


Fig. 8.88. Principiul danturării roţilor dinţate conice cu dinţi rectilinii din grupa *II*: *1* — cuţite; *2* — săniile cuţitelor; *3* — cadru; — roată plană; *4* — centrul maşinii; *5* — piesa; *6* — dorn port piesă; *7* — dispozitiv de divizare; *8* — roată plană imaginară; ω_1 şi ω_2 — mişcări de rulare.

modulelor mici), piesa, în poziţie retrasă, este divizată pentru prelucrarea altui dinte.

Pentru prelucrarea roţilor conice cu dinţi înclinaţi trebuie dezaxată maşina cu o cantitate E_1, determinată cu o relaţie similară cazului precedent, însă corectată cu cosinusul unghiului dintre patinele cuţitelor δ_y. Maşina, lucrînd cu două cuţite, are o productivitate mai mare şi putînd efectua finisarea în ambele sensuri de rulare, asigură şi o calitate mai bună danturii.

8.3.7. Prelucrări de superfinisare

Prin superfinisare se urmăreşte îmbunătăţirea calităţii suprafeţei aşchiate, prin reducerea rugozităţii şi nivelarea vîrfurilor asperităţilor. Prin procedee mai puţin energice cum sînt: honuirea, lepuirea, supernetezirea, şeveruirea, rodarea, se poate micşora rugozitatea pînă la $R_a = 0{,}012 \ldots 0{,}2$ μm. Concomitent are loc şi o ridicare a preciziei dimensionale şi, într-o oarecare măsură, şi a calităţii formei geometrice. În toate cazurile, adaosurile de prelucrare lăsate de operaţiile anterioare sînt foarte mici, de ordinul sutimilor de milimetru.

8.3.7.1. **Honuirea.** Este o operaţie prin care se superfinisează alezajele, utilizînd în acest scop un cap de honuit (fig. 8.89, *a*) pe care sînt montate elastic barele abrazive, la un diametru aproximativ egal cu diametrul alezajului (ceva mai mare). Forţa de aşchiere este realizată numai de tensiunea din arcuri. Capul de honuit efectuează o mişcare de rotaţie şi una de avans longitudinal de dute-vino (fig. 8,89, *b*) şi se utilizează şi lichid de aşchiere.

8.3.7.2. **Lepuirea.** Spre deosebire de honuire, granulele abrazive sînt libere şi lăsate să pătrundă între suprafaţa de prelucrat şi dispozitivul de lepuit. Prelucrarea se face prin deplasarea relativă a piesei faţă de dispozitivul de lepuit, dispozitiv care trebuie adaptat formei piesei. In

Scanned with OKEN Scanner

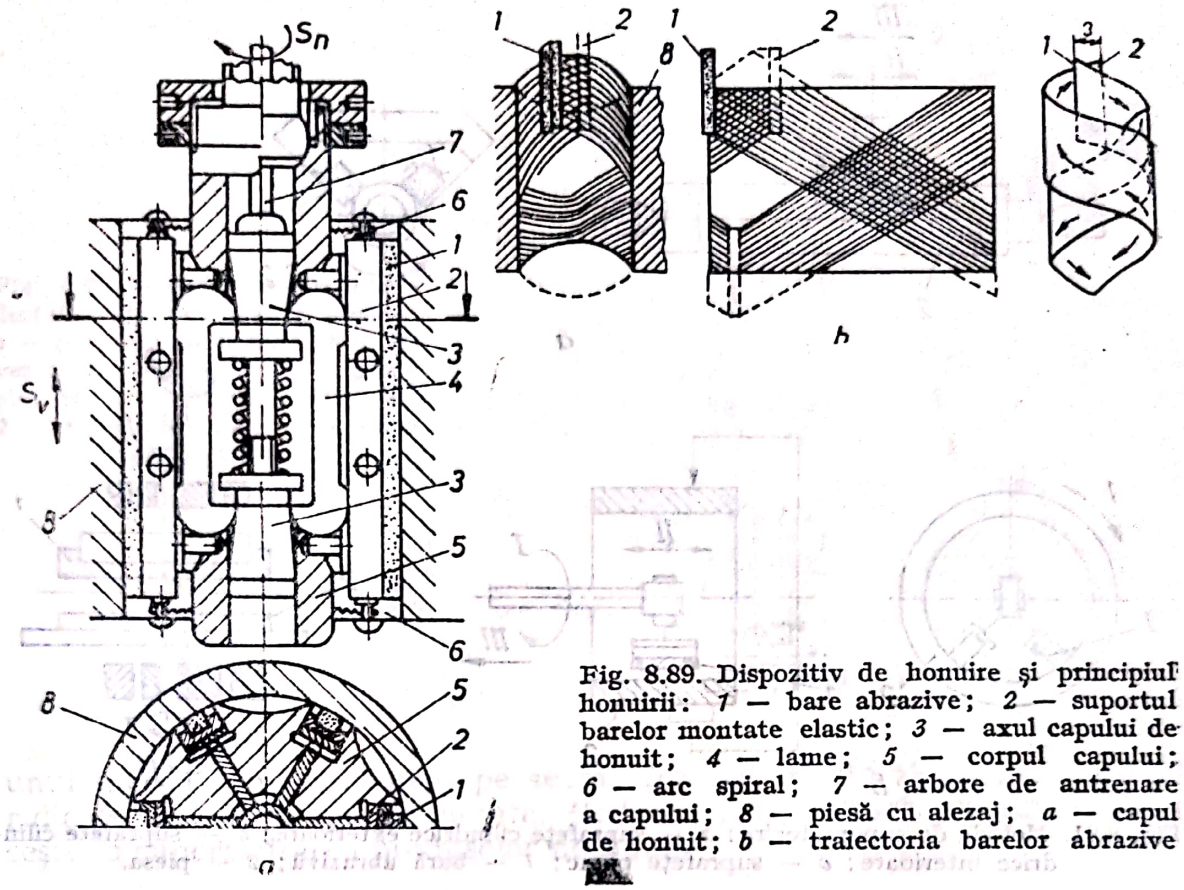


Fig. 8.89. Dispozitiv de honuire și principiul honuirii: *1* — bare abrazive; *2* — suportul barelor montate elastic; *3* — axul capului de honuit; *4* — lame; *5* — corpul capului; *6* — arc spiral; *7* — arbore de antrenare a capului; *8* — piesă cu alezaj; *a* — capul de honuit; *b* — traiectoria barelor abrazive

figura 8.90 se prezintă dispozitivul de lepuit al unor suprafețe cilindrice exterioare (bucșe, bolțuri, arbori simpli etc.). Piesele sînt introduse între două discuri, care nu sînt nici coaxiale și nici nu se rotesc cu aceeași turație. Piesele sînt așezate în alveolele unei colivii sau înșirate pe tije centrate față de discul superior. Ca material abraziv se poate folosi, oxidul de crom, miniu de plumb, praf de diamant etc.

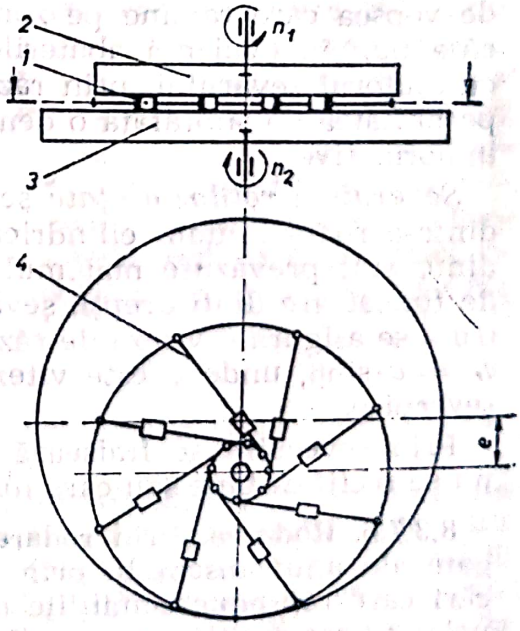


Fig. 8.90. Schema lepuirii unor bucșe: *1* — piesă tip bucșă; *2* — discul superior; *3* — discul inferior; *4* — tije port-bucșe.

8.3.7.3. **Supernetezirea.** Este o variantă a procedeului de honuire, adaptată însă pentru orice tip de suprafață. Se folosesc același fel de bare abrazive, fixate tot elastic în dispozitiv, însă în număr mai mic și unilateral. În procesul de supernetezire, ansamblul piesă-dispozitiv poate executa două pînă la șase mișcări pentru acoperirea în mod uniform a întregii suprafețe. În figura 8.91 se prezintă modul de supernetezire a unor suprafețe tipice. Se folosesc și în acest caz lichide de așchiere, în special petrol lampant cu 10% ulei de turbină.

8.3.7.4. **Șeveruirea.** Este o așchiere fină, condusă manual sau mecanic, folosind o sculă numită *șevăr*, cu una sau

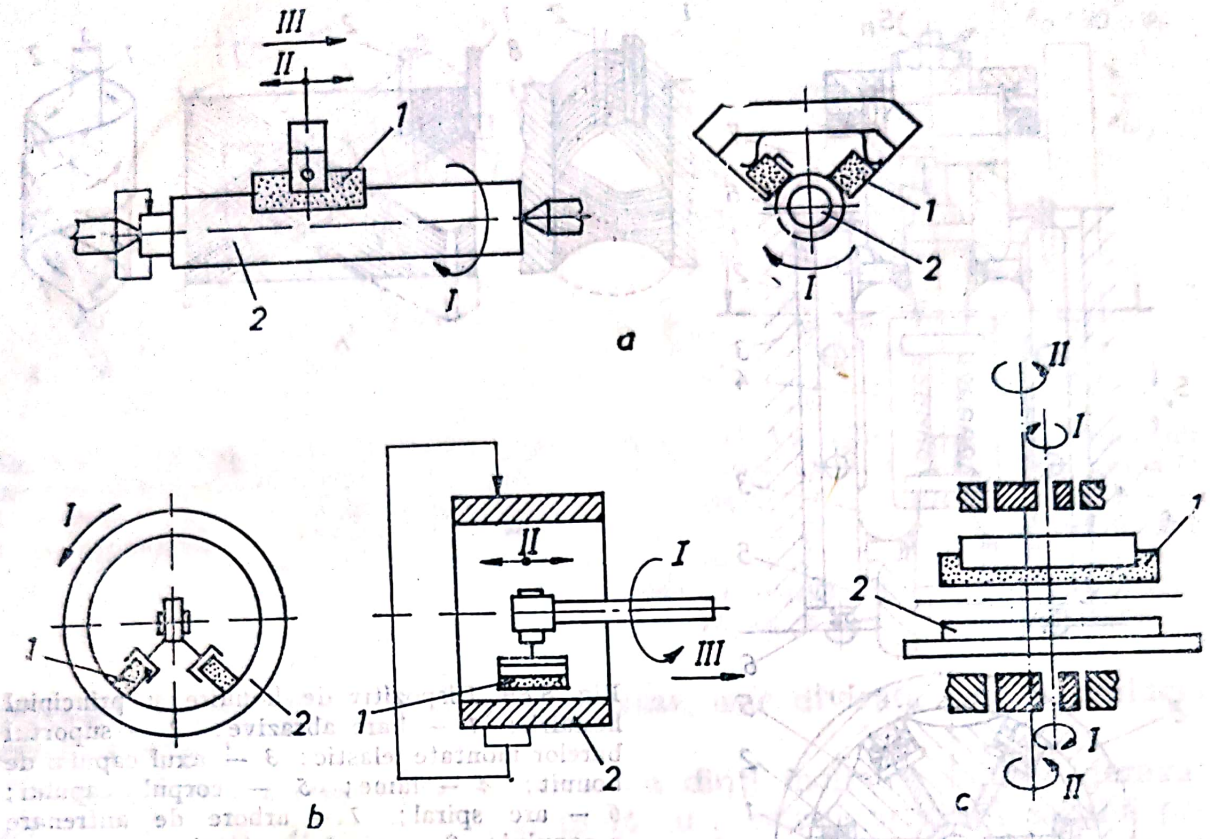


Fig. 8.91. Metode de supernetezire: *a* — suprafețe cilindrice exterioare; *b* — suprafețe cilindrice interioare; *c* — suprafețe plane; *1* — bară abrazivă; *2* — piesa.

mai multe muchii tăietoare. Prin *șeveruire manuală* se prelucrează (se ajustează) suprafețe plane și uneori semilagărele de alunecare. Lucrarea se conduce cu ajutorul petelor de culoare (suprafața de șeveruit se pune în contact, prin tușeu, cu o piesă etalon, acoperită cu un strat subțire de vopsea care rămîne pe zonele proeminente ale suprafeței controlate) care pun în evidență abaterile de suprafață, care apoi sînt îndepărtate cu ajutorul șevărului, prin răzuire. Operațiunea se repetă pînă se obține pe unitatea de suprafață o densitate suficient de mare de pete, prevăzută în normative.

Șeveruirea roților dințate se face mecanic și folosește o sculă derivată dintr-o roată dințată cilindrică sau o cremalieră. Pe flancurile fiecărui dinte sînt prevăzute mai multe muchii tăietoare (fig. 8.92). Dacă roata de finisat are dinți drepți, șevărul va fi cu dinți înclinați și invers, pentru a se asigura o viteză de răzuire v de-a lungul flancului dinților roții, $v_r = v \cdot \sin\beta$, unde v este viteza periferică a roții, iar β este unghiul de șeveruire.

Prin șeveruire se finisează roți dințate executate din materiale care nu se rectifică bine sau care nu au fost călite.

8.3.7.5. Rodarea. Prin rodare se adaptează între ele elementele conjugate ale unui ansamblu prin intermediul unui *mediu de rodare* și mișcări care reproduc condițiile de funcționare. De exemplu rodarea supapelor cu scaunul lor, a cepurilor cu locașul lor din corpul robinetului etc. se face folosind pastă abrazivă diluată în ulei. Se pot efectua și rodaje pe elemente de ansamblu, folosind drept sculă o contrapiesă etalon de duritate ridicată. În acest caz rodarea se poate face și fără utilizarea

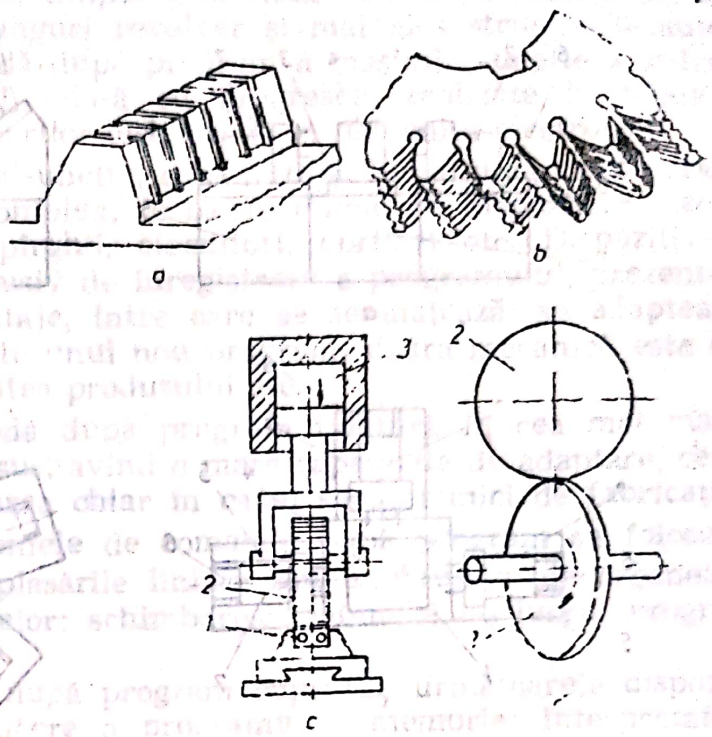


Fig. 8.92. Superfinisarea roților dințate cilindrice prin șeveruire: *a* — șever tip cremalieră; *b* — șever roată dințată; *c* și *d* — exemple de șeveruire; *1* — șever; *2* — roată dințată; *3* — cilindru—piston.

unui mediu abraziv, numai pe seama frecării uscate și a unei presiuni ridicate pe suprafața prelucrată. Rodarea prin frecare uscată se folosește la superfinisarea produselor necălite.

8.4. TENDINȚE CONTEMPORANE ÎN CONSTRUCȚIA MAȘINILOR-UNELTE

Mai ales în ultimele decenii, dar începînd încă cu primele decenii ale acestui secol, odată cu dezvoltarea fabricației de serie foarte mare și în masă (automobile, motoare electrice, utilaje electromenajere etc.), mașinilor-unelte li se cer performanțe din ce în ce mai ridicate, atît din punct de vedere al productivității și al calității produselor, cît și al deservirii și adaptabilității rapide la programe variate de fabricație. Pași importanți au fost făcuți în aceste direcții odată cu implicarea mai accentuată în structura mașinilor-unelte a electronicii industriale, a microprocesoarelor, a calculatorului de proces. Într-o ordine oarecum cronologică au apărut: mașinile-unelte agregat, linii automate de mașini-unelte, mașini-unelte cu comandă după program și mai nou mașini-unelte centre de prelucrare.

8.4.1. Mașini-unelte agregat

Pe un batiu comun sînt mai multe posturi de lucru, fiecare post de lucru fiind prevăzut cu un *cap de forță* cu una sau mai multe scule, care vor acționa simultan. Piesa așezată și poziționată pe masa mașinii va fi atacată succesiv sau cu un anumit grad de simultaneitate de către capetele de forță. Pe o mașină-unealtă agregat, o piesă poate fi prelucrată în întregime sau în cea mai mare parte. Din punct de vedere constructiv, ele pot fi structurate după multe scheme (fig. 8.93), adaptate geometriei și complexității piesei de prelucrat.

Scanned with OKEN Scanner

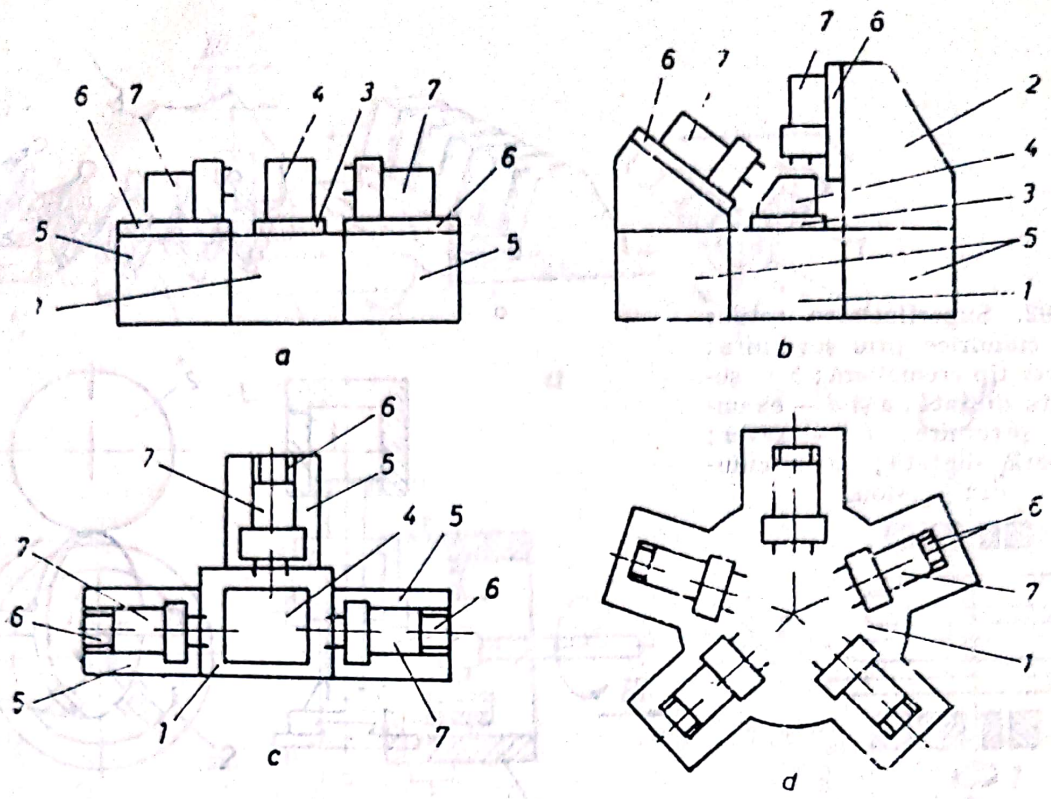


Fig. 8.93. Tipuri constructive de mașini-unelte agregat: *a* — cu două capete de forță dispuse paralel; *b* — cu două capete de forță dispuse oblic; *c* și *d* — cu mai multe capete de forță dispuse radial; *1* — batiu; *2* — coloană; *3* — masa port piesă; *4* — piesa; *5* — suport cap forță; *6* — ghidaj cap forță; *7* — cap forță.

8.4.2. Linii automate de mașini-unelte

Mașinile-unelte simple sau agregat, dispuse liniar, și la care transportul, poziționarea, fixarea și defixarea piesei după prelucrarea într-o poziție dată și apoi transportarea într-a nouă poziție de lucru, și așa mai departe pînă la terminarea prelucrării ei, formează liniile de mașini-unelte. La liniile automate controlul și reglarea sînt automate, erorile semnalate de aparatele de control sînt imediat interpretate de un calculator de proces care intervine în mod automat și remediază deficiențele semnalate. Astfel de linii automate sînt din ce în ce mai mult folosite în fabricația de masă, ca de exemplu în industria de automobile la prelucrarea blocului motor, a arborelui cotit etc., în industria electrotehnică, a produselor electromenajere etc.

8.4.3. Mașini-unelte cu comandă după program

Prelucrarea oricărei piese pe o mașină-unealtă se face după un program care nu este altceva decît procesul tehnologic de prelucrare. Transpunerea acestui program pe mașinile-unelte se face prin dispozitivele de comandă cu care mașina este înzestrată. În varianta clasică, dispozitivele de comandă sînt cu acționare manuală și în consecință programul se transferă manual, operațiune după operațiune. Timpii de lucru erau mari, ponderea timpilor auxiliari era foarte mare și, ca urmare, productivitatea scăzută, costul fabricației ridicat. Deși rudimente de comenzi

după program au apărut de timpuriu și chiar sisteme complete de comandă după program (strunguri revolver și mai ales strungurile automate), conceptul de comandă după program a mașinilor-unelte a apărut numai în ultimele decenii, odată cu progresele realizate în tehnică, mai ales în domeniul acționărilor electrice și în domeniul electronicii.

Sistemele vechi de mașini-unelte, care puteau lucra după un program mai mult sau mai puțin complex, se bazau numai pe dispozitive mecanice de comandă, came, pîrghii, ciocnitori, opritori etc. Dispozitivele mecanice de comandă, inclusiv de înregistrare a programului, prezentau și prezintă cîteva dezavantaje, între care se semnalează: se adaptează greu și cu cheltuieli ridicate unui nou program, uzura mecanică este de neevitat, influențează calitatea produsului etc.

Noile sisteme de comandă după program înlătură în cea mai mare parte neajunsurile de mai sus, avînd o mare capacitate de adaptare, ceea ce le face rentabilă utilizarea chiar în cazul seriilor mici de fabricație.

La mașinile-unelte, sistemele de comandă după program se folosesc pentru: poziționarea și deplasările liniare sau unghiulare ale organelor de lucru; schimbarea sculelor; schimbarea regimului de lucru; programarea ciclurilor de lucru.

Un sistem de comandă după program cuprinde următoarele dispozitive: dispozitiv de introducere a programului; memorie; interpretator (dacă programul este codificat); dispozitiv de citire a programului; dispozitiv de comandă; dispozitiv de execuție; obiectul lucrării; sesizori de formă sau de deplasare. O mașină-unealtă cu comandă după program poate avea o schemă mai simplă sau mai complexă în funcție de domeniul de utilizare. Cîteva scheme bloc vor permite sesizarea gradelor de complexitate pe care le pot avea mașinile-unelte cu comandă după program. Astfel, în figura 8.94, *a* este prezentată o schemă bloc simplă a

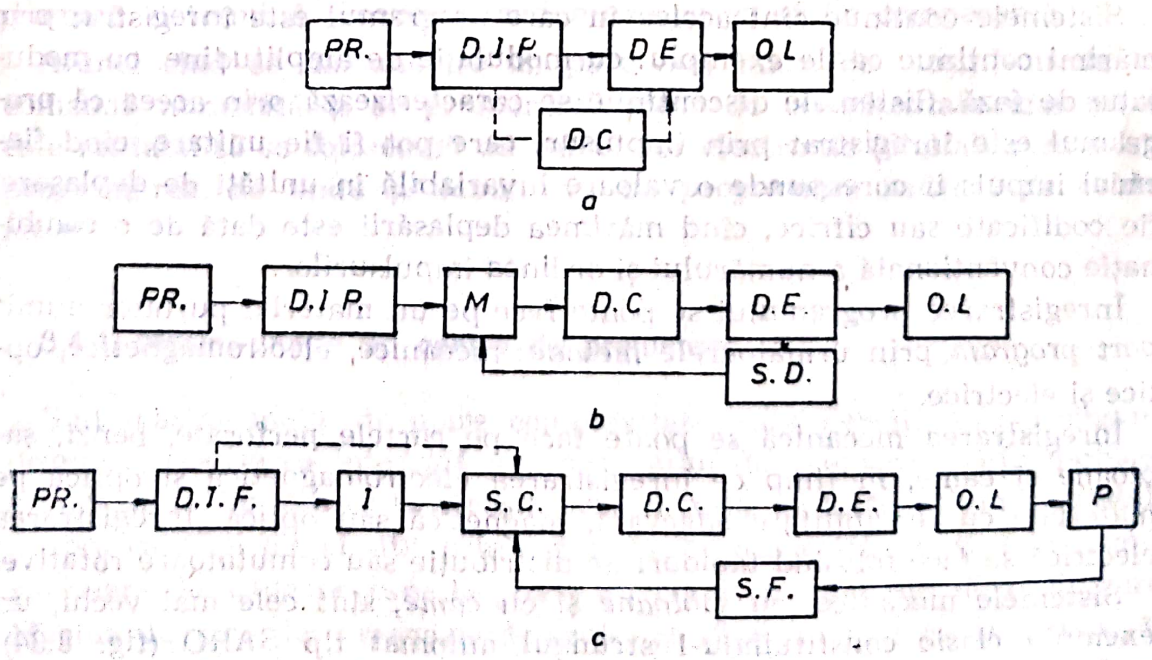


Fig. 8.94. Cîteva tipuri de scheme bloc pentru mașinile-unelte cu comandă după program: *PR* **— program;** *D.I.P.* **— dispozitiv de înregistrare a programului;** *I* **— interpolator;** *D.C.* **— dispozitiv de comandă;** *D.E.* **— dispozitiv de execuție;** *O.L.* **— obiectul prelucrării;** *P* **— piesă etalon;** *S.F.* **— sesizor de formă;** *M* **— memorie;** *S.D.* **— sesizor de deplasare.**

Scanned with OKEN Scanner

unei mașini-unelte care poate lucra și cu comandă manuală, programul referindu-se numai la schimbarea regimului de așchiere. Mașinile-unelte dispunînd de o schemă mai complexă pot permite și corectarea deplasărilor elementelor de execuție (fig. 8.94, *b*) sau a corectării execuției în general, folosind comparația făcută de un sesizor de formă cu o piesă martor (fig. 8.94, *c*).

Prelucrarea pe mașini-unelte cu comandă după program necesită o fază pregătitoare mult mai laborioasă decît prelucrarea pe mașini-unelte convenționale. Această fază pregătitoare cuprinde următoarele momente: pregătirea programului, întocmirea fazelor de lucru și a fișei program, înregistrarea programului și verificarea programului.

Pregătirea programului trebuie să țină seama de tipul mașinii pe care se va face prelucrarea, de felul mișcărilor de lucru, de caracterul informației care exprimă programul, de sistemul de reproducere a programului etc

Plecînd de la desenul de execuție al piesei, transpus într-o cotare adecvată mașinii-unelte pe care se va face prelucrarea, se întocmește fișa tehnologică și fișa program, care prevede succesiunea fazelor și operațiilor, poziția sculelor, gradul de simultaneitate a unor faze, parametrii proceselor de așchiere, mărimea deplasărilor elementelor de execuție etc.

Fișa program se înregistrează pe elementele de memorie ale mașinii-unelte cu comandă după program. După caracterul informației care exprimă programul, se pot deosebi: sisteme continue sau analoage și sisteme discontinue — discrete sau digitale.

Sistemele continue sînt acelea în care programul este înregistrat prin mărimi continue ca de exemplu: cu modulație de amplitudine, cu modulație de fază. Sistemele discontinue se caracterizează prin aceea că programul este înregistrat prin impulsuri care pot fi fie unitare, cînd fiecărui impuls îi corespunde o valoare invariabilă în unități de deplasare, fie codificate sau cifrice, cînd mărimea deplasării este dată de o combinație convențională a numărului și ordinea impulsurilor.

Înregistrarea programului se poate face pe un material purtător numit *port program* prin următoarele metode: mecanice, electromagnetice, optice și electrice.

Înregistrarea mecanică se poate face pe cartele perforate, benzi, șabloane și came, în timp ce înregistrarea electromagnetică și optică pe materiale cu sensibilitate adecvată, magnetică sau optică. Înregistrarea electrică se face folosind tablouri de distribuție sau comutatoare rotative.

Sistemele mecanice, cu *șabloane* și cu *came*, sînt cele mai vechi, un exemplu clasic constituindu-l strungul automat tip SARO (fig. 8.34). Cartelele perforate au fost adoptate la comanda unor strunguri revolver, contribuind mai ales la reducerea timpilor auxiliari, și, implicit, la mărirea productivității lor. În figura 8.95 se prezintă o *cartelă perforată*

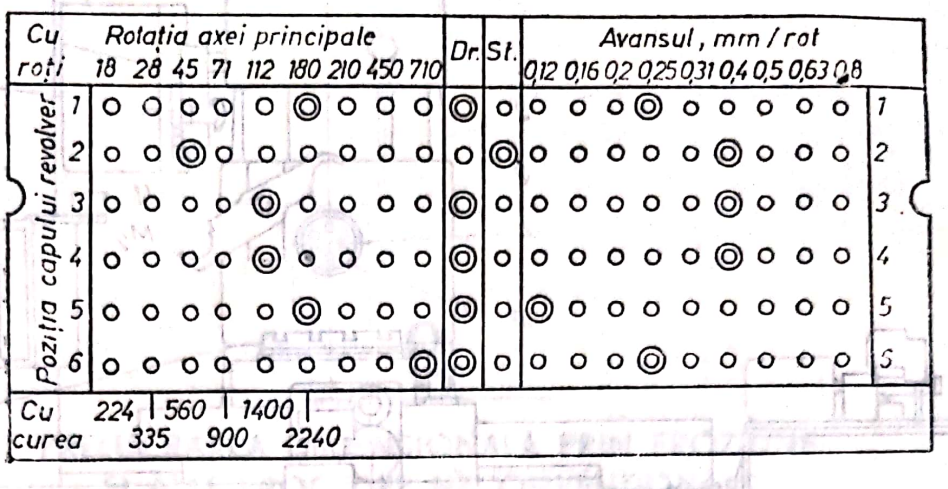


Fig. 8.95. Cartelă perforată.

cu ajutorul căreia se programează regimul de așchiere pentru cele șase posibilități de lucru a capului revolver. Desigur că el este corelat cu întreg sistemul de comandă al strungului revolver, schimbarea parametrilor de așchiere făcîndu-se totdeauna în poziție retrasă a saniei capului revolver.

În sistemele moderne de mașini-unelte cu comandă după program s-a dezvoltat, mai ales, sistemul cu comandă programată numeric, denumit *cu comandă numerică*. Sistemele numerice (digitale) de comandă după program sînt în principiu sisteme de reglare automată. Un circuit de reacție confruntă permanent valoarea mărimii de ieșire cu valoarea programată, determină eroarea și acționează ca ea să fie compensată.

Atunci cînd se dispune de un parc mai mare de mașini-unelte cu comandă numerică și se prelucrează piese de complexitate mai mare, este rentabil să se folosească un calculator electronic (digital) care asistă programarea, de unde și denumirea de *programare asistată de calculator*.

8.4.4. Mașini-unelte tip centre de prelucrare

Sînt mașini-unelte de mare complexitate, care permit, într-o singură prindere, realizarea integrală a programului de prelucrare prin așchiere a unei piese. Se ajunge la această performanță, cu influență indiscutabilă asupra calității piesei, atît prin comanda lor numerică, cît și prin numărul mare de scule pe care le poate introduce în procesul de prelucrare. Mașina dispune de o magazie de scule, cu disc sau lanț cu articulații, în care se pot fixa zeci de scule, din care sînt apoi extrase sculele, conform programului și fixate în dispozitivul port sculă al mașinii. Mișcările de bază și de instalare sînt arătate schematic în figura 8.96.

Scanned with OKEN Scanner

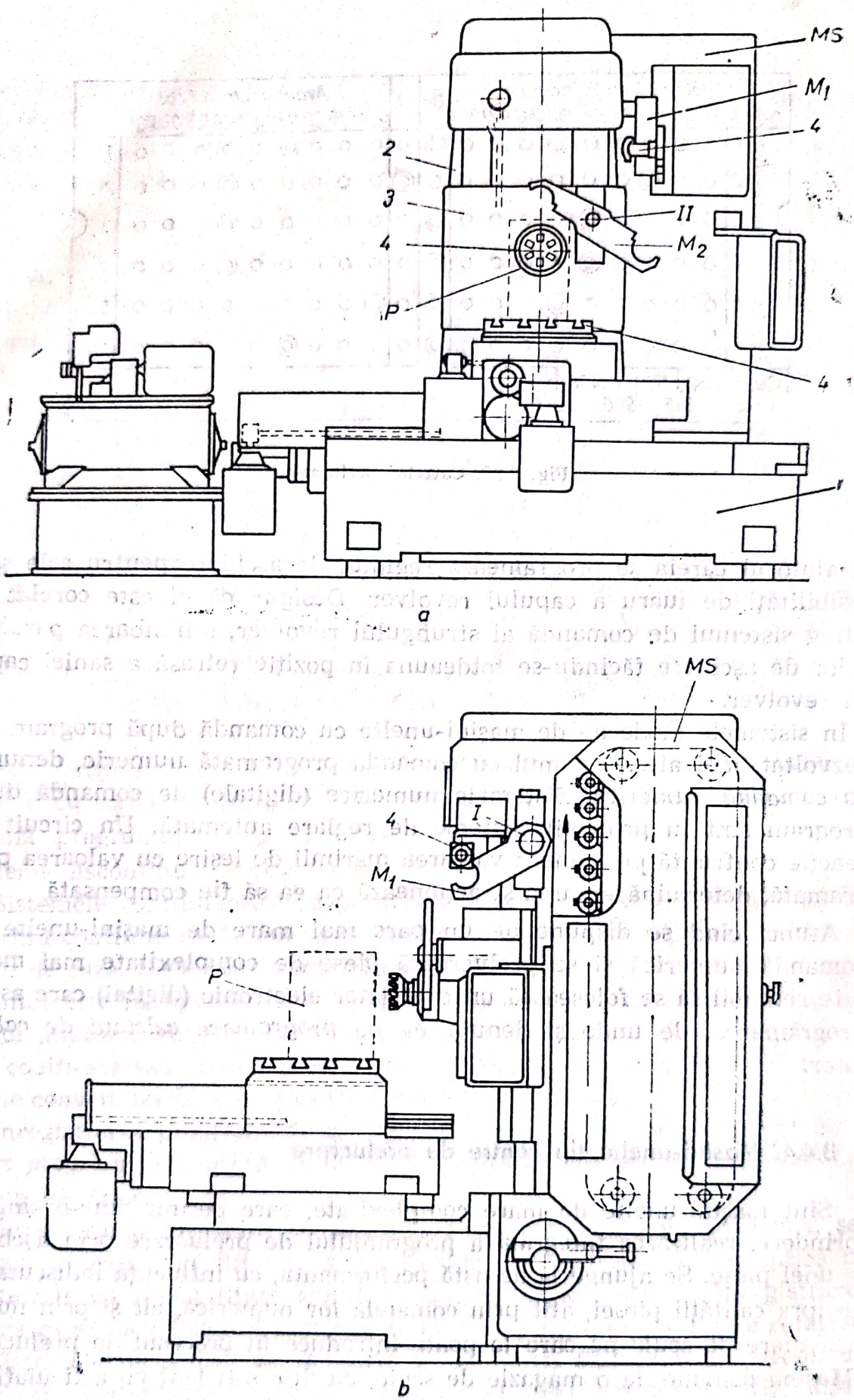


Fig. 8.96. Centru de prelucrare: *1* — batiu; *2* — coloană; *3* — sanie port sculă; *4* — sculă; *5* — masă port piesă; *M.S.* — magazie scule; M_1 și M_2 — manipulatoare sculă; *I* și *II* — arbori pentru acționarea manipulatoarelor; *P* — piesa; *a* — vedere frontală; *b* — vedere laterală.

Scanned with OKEN Scanner

9

PRELUCRAREA DIMENSIONALĂ PRIN EROZIUNE ȘI ALTE PROCEDEE NECONVENȚIONALE

9.1. GENERALITĂȚI

Stadiul de dezvoltare industrială privind construcția de mașini, aparate și utilaje cu performanțe ridicate, conduce la utilizarea unor materiale metalice cu proprietăți fizico-chimice ridicate (oțeluri aliate și înalt aliate cu Cr, Ni, W, Ta, Ti etc.) care sînt greu sau chiar imposibil de prelucrat prin procedeele clasice, convenționale, ceea ce a impus elaborarea și aplicarea unor tehnologii noi de prelucrare, moderne, denumite neconvenționale.

Aceste prelucrări neconvenționale au o aplicare largă în domeniile de vîrf ale tehnicii. Principalele caracteristici ale acestor procedee sînt următoarele: grad avansat de automatizare, domenii de aplicații care nu pot fi rezolvate prin procedeele convenționale, productivitate ridicată la prelucrarea unor materiale și aliaje cu proprietăți fizico-mecanice deosebite (cum sînt rezistență la uzare, duritate, fragilitate, stare de tensiuni etc.), precum și posibilitatea generării unor suprafețe cu geometrie deosebită.

Procedeele neconvenționale au completat multe tehnologii clasice ca: turnarea, deformarea plastică, sudarea, însă marea lor majoritate se bazează pe *eroziune,* care completează prelucrările prin așchiere și ale căror variante tehnologice sînt atătate în figura 9.1.

Energia primară a agentului eroziv este predominant electrică, electromagnetică, electrochimică, chimică, radiantă etc. În zona de acțiune *agent eroziv-material prelucrat,* energia primară a agentului eroziv se transformă în energie termică, mecanică sau chimică care se consumă în cea mai mare parte pentru prelucrarea materialului. Fenomenele principale care se produc la prelucrarea prin eroziune sînt următoarele: topirea, vaporizarea, sublimarea materialului în volume mici, afectate de acțiunea agentului eroziv, ruperi de material din straturile de suprafață ale obiectului eroziunii și coroziunea intensă a materialului prelucrat. Procesul de îndepărtare a produselor rezultate se face discontinuu.

La aplicarea acestor procedee trebuie să se țină seama de faptul că uneori costul prelucrării este mai ridicat, datorită valorii mari a utilajelor și gradului înalt de automatizare. În figura 9.2 se prezintă relația dintre productivitate și prelucrabilitate, de unde se observă că proce-

Scanned with OKEN Scanner

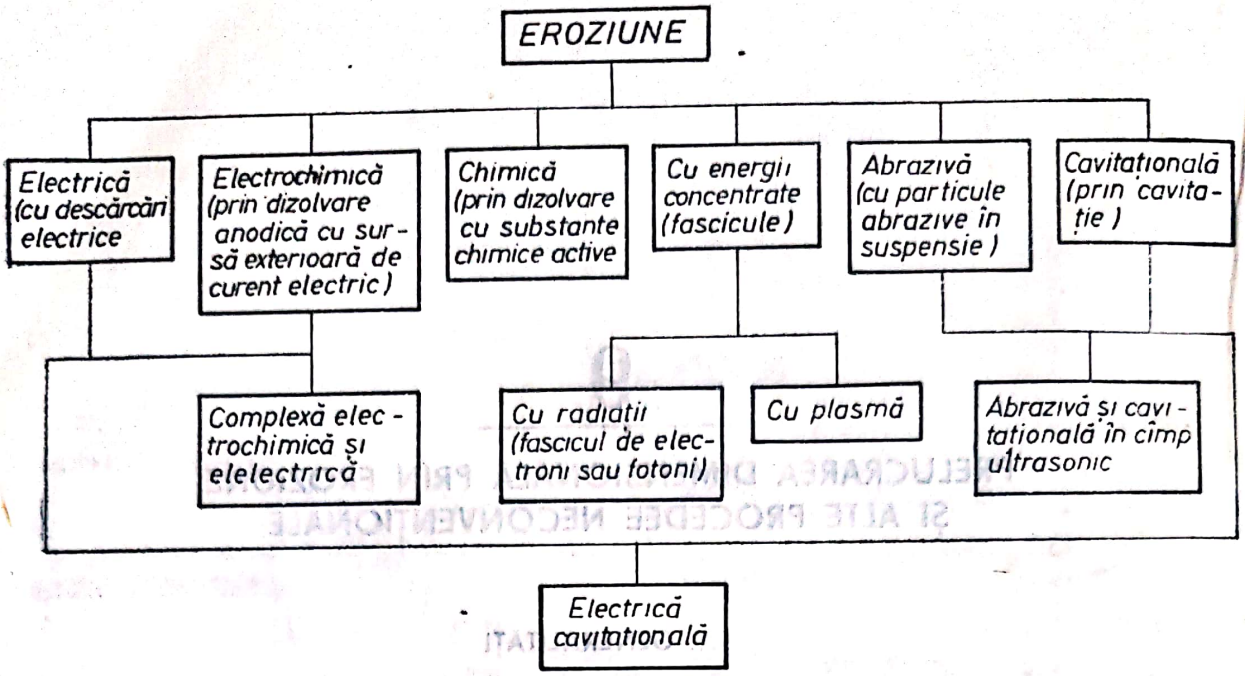


Fig. 9.1. Variante tehnologice de prelucrare prin eroziune.

deele clasice, convenționale, sînt mai eficiente la piesele cu prelucrabilitate ușoară și complexitate redusă, în timp ce procedeele neconvenționale sînt eficiente la piesele cu prelucrabilitate dificilă și complexitate ridicată.

Materialele obișnuite, de complexitate redusă, s-ar prelucra prin procedee neconvenționale cu un consum de energie superior față de așchiere. Structura optimă a pieselor prelucrate prin tehnologii neconvenționale ar fi: 100% în cazul pieselor cu prelucrabilitate foarte dificilă, 90% în cazul celor cu prelucrabilitate dificilă și numai 30% în cazul pieselor cu prelucrabilitate normală.

9.2. PRELUCRAREA PRIN EROZIUNE ELECTRICĂ

Prelucrarea dimensională a metalelor prin eroziune electrică se bazează pe *efecte erozive* complexe, discontinui și localizate, a unor descărcări electrice prin impuls, amorsate în mod repetat între *obiectul de prelucrat OP* și un *electrod ajutător EA* (fig. 9.3).

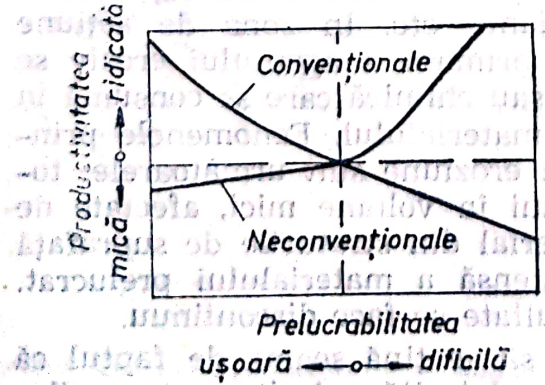


Fig. 9.2. Variația productivității proceselor de prelucrare convențională și neconvențională cu prelucrabilitatea materialului.

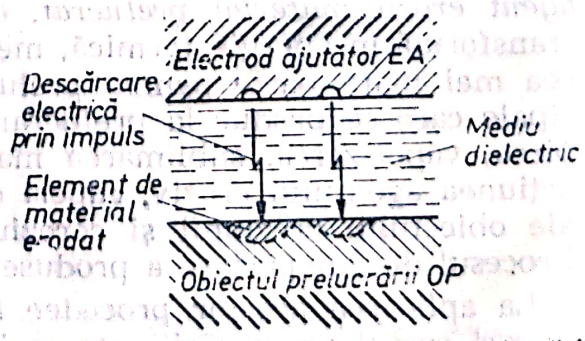


Fig. 9.3. Schema de principiu a prelucrării dimensionale prin eroziune electrică.

Atunci cînd sursa are putere și tensiune suficientă, între electrozi apare o *descărcare electrică* care trece succesiv prin mai multe stadii: luminiscență, scînteie, scîndieie-arc și arc (fig. 9.4). *Descărcarea luminiscentă* (stadiul *I*, între *A—B*), apare ca urmare unei intensități ale cîmpului electric superioare rigidității dielectrice a mediului și se caracterizează prin cădere de tensiune mare (10^2 V), curent mic și durată foarte scurtă (10^{-8} s). Străpungerea rigidității dilectricului se face în salturi, datorită unor particule conductoare, pe care acesta le conține, la început în puncte limitate, iar apoi într-o infinitate de puncte. Datorită amplificării procesului de descărcare, are loc, pe puntea conductoare formată, o explozie și se formează canale filiforme, ionizate, care permit trecerea curentului (fig. 9.5). Explozia este determinată de condiții favorabile, adică gradient mare de temperatură, timp scurt de descărcare, presiuni mari datorită gazelor formate prin piroliza dielectricului. Aceste canale au diametrul pînă la 900 micrometri și lungimi de la 100 la 600 micrometri. În aceste condiții de concentrare (10^{12} ... 10^{13} ioni/cm^3), are loc formarea unei *plasme* care topește și vaporizează metalul din vîrful neregularităților.

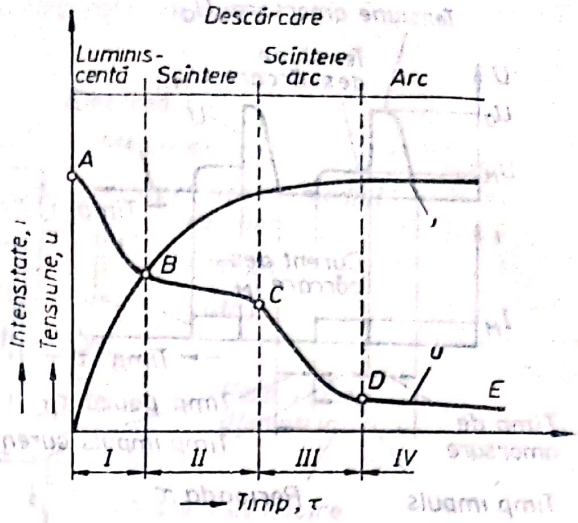


Fig. 9.4. Stadii ale descărcării electrice.

Acest proces este denumit *descărcare prin scîntei* (stadiul *II* între *B—C*) și durează 10^{-6} s, fiind caracterizat printr-o cădere de tensiune de 10^2 V. Descărcarea este neordonată, trecerea metalului dintr-o stare fizică în alta are loc cu macroexplozii, care sînt vizibile și auzite. Undele de șoc mecanice, împreună cu volumul gazelor, cresc și deformează *canalele ionizate*, dînd naștere unor *cratere* (fig. 9.6). Efectul termic al descărcării se repartizează, mai ales, la anod, deoarece acestuia i se cedează energia electronilor frînați, de unde apare necesitatea prelucrării cu *polaritate directă*, electrodul *EA* fiind legat la catod.

În stadiul următor *III* (între *C—D*), de *descărcare în scînteie-arc*, tensiunea se micșorează la 30 ... 35 V, cu timp de 10^{-4} s și intensitate mai mare a curentului.

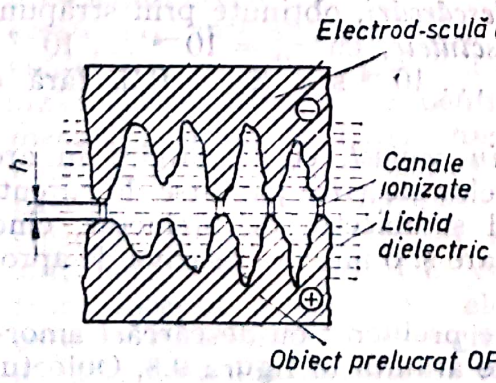


Fig. 9.5. Formarea canalelor ionizate.

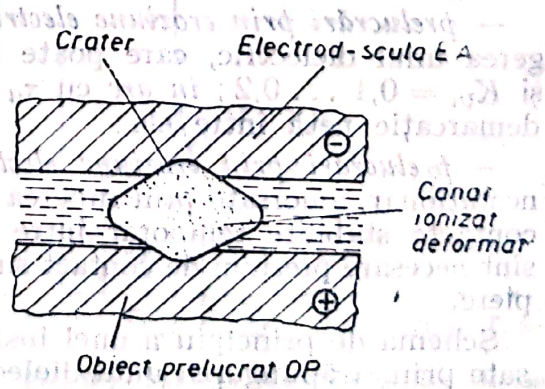


Fig. 9.6. Formarea craterelor de eroziune.

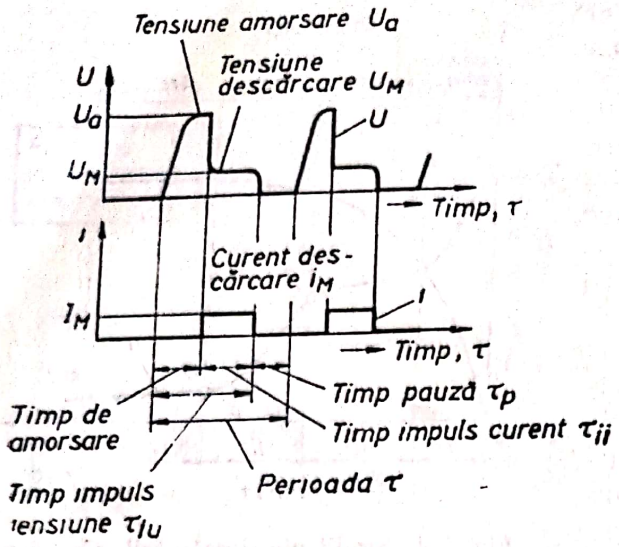


Fig. 9.7. Variația tensiunii și a curentului în timpul descărcării electrice în impuls.

În ultimul stadiu *IV* (între *D—E*), de *descărcare în arc*, se ajunge la o cădere de tensiune de 30 V, după un timp de $10^{-4}...10^{-5}$ s, cu stabilitate a diametrului canalului și a intensității curentului. În acest stadiu efectul termic al descărcării se repartizează mai ales la catod, datorită componentei ionice a curentului de descărcare, din care cauză se recomandă legătura electrică cu *polaritate inversă*.

Energia este transmisă obiectului prelucrat *OP* în mod discontinuu, sub formă de *impulsuri*. Prin impuls se înțelege evoluția unui sistem electromagnetic, în care mărimile lui caracteristice se abat brusc de la o valoare constantă, la care revin după o perioadă scurtă de timp. În figura 9.7 se arată un exemplu de variație a curentului și tensiunii într-o descărcare electrică. Pentru ca descărcările să aibă loc este necesar ca durata pauzei t_p dintre impulsuri să fie mai mare decît timpul necesar pentru *deionizarea* punții conductoare a descărcării și decît duratele *proceselor electrice tranzitorii*, determinate de caracterul capacitiv sau inductiv al circuitului de alimentare.

Coeficientul de umplere pentru *tensiune* K_{Uu} sau *curent* K_{Ui} este raportul dintre *timpul impulsului* de tensiune τ_{iu}, respectiv timpul impulsului de curent τ_{ii} și durata τ a perioadei impulsurilor, adică:

$$K_{Uu} = \frac{\tau_{iu}}{\tau} = \tau_{iu} f;\ K_{Ui} = \frac{\tau_{ii}}{\tau} = \tau_{ii} f, \tag{9.1}$$

unde f este frecvența:

$$f = \frac{1}{\tau}\left[\frac{\text{număr } \textit{impuls}}{s}\right]. \tag{9.2}$$

În funcție de modul de amorsare și de caracterul descărcărilor electrice în impuls, se disting următoarele variante de prelucrări:

— *prelucrări prin eroziune electrică cu descărcări*, obținute prin străpungerea unui dielectric, care poate fi: *în scînteie*, cu $\tau_{ii} = 10^{-4} \ldots 10^{-7}$ s și $K_{Ui} = 0{,}1 \ldots 0{,}2$; *în arc* cu $\tau_{ii} = 10^{-1} \ldots 10^{-4}$ s și $K_{Ui} = 0{,}2$, fără o demarcație netă între ele;

— *prelucrări prin eroziune electrică prin contact*, cu descărcări în arc nestaționar, amorsate prin ruperea contactelor electrice parcurse de curent, contacte stabilite temporar între electrod și obiectul de prelucrat, cînd sînt necesare presiuni de contact suplimentare și o mișcare relativă de apropiere.

Schema de principiu a unei instalații de prelucrat cu descărcări amorsate prin străpungerea unui dielectric este arătată în figura 9.8. Obiectul de prelucrat *OP* și electrodul *EA* se conectează la bornele de ieșire ale

Scanned with OKEN Scanner

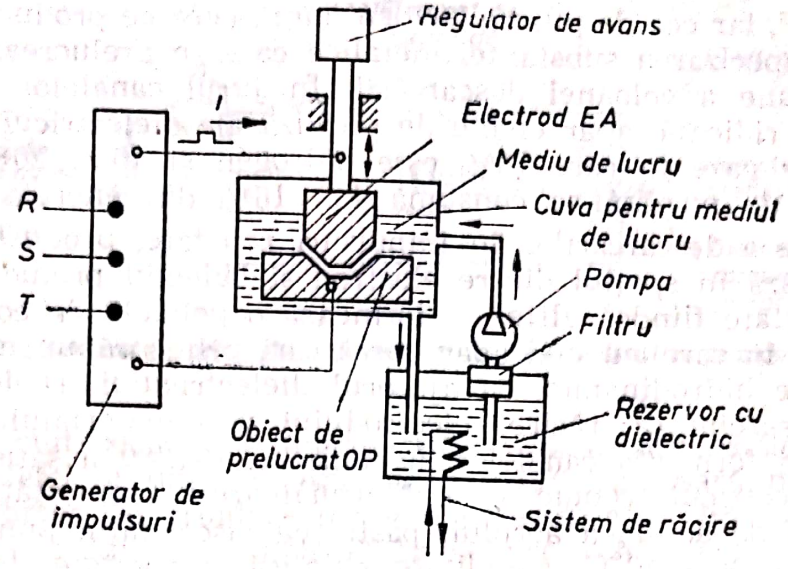


Fig. 9.8. Schema de principiu a unei instalații de prelucrare prin eroziune electrică.

unui *generator de impulsuri*. Între suprafețele de interacțiune, într-un dielectric există un *interstițiu* de 0,01 ... 0,5 mm. Pentru amorsarea descărcărilor este necesar să se coreleze mărimea interstițiului cu rigiditatea dielectrică a mediului. Interstițiul este considerat ca o rezistență electrică neliniară în circuitul descărcării, care variază ca în figura 9.9. Pe porțiunea *1* are loc o cădere rapidă a tensiunii U_1, cînd se formează canalele de descărcare într-un timp de $10^{-9} \ldots 10^{-7}$ s; pe porțiunea *2* căderea de tensiune U_2 este mai lentă și timpul de 100 ... 500 μs, în timp ce în porțiunea *3* tensiunea U_3 rămîne constantă, ne fiind legată de durata impulsului. Descărcările electrice prin impuls sînt însoțite de efecte erozive, atît la obiectul prelucrat, cît și la electrod, din care cauză trebuie asigurate condiții de polarizare care să erodeze cît mai puțin electrodul. Acest lucru se poate realiza prin conectări cu polaritate corespunzătoare, precum și folosirea unor materiale cu o bună conductivitate termică și rezistență în arc, cum sînt: cuprul, grafitul, pseudoaliajele wolfram-cupru.

Producerea descărcării se face în zonele în care interstițiul este minim. După fiecare descărcare crește interstițiul în acel punct și descărcările următoare se fac pe alte și alte porțiuni ale piesei de prelucrat, pînă cînd treptat, pe întreaga suprafață, interstițiul crește. La un moment dat, creșterea interstițiului face ca, în continuare, să nu mai fie posibile ionizări și descărcări, motiv pentru care mașinile dispun de *dispozitive automate de avans*, cu ajutorul cărora se păstrează constantă mărimea interstițiului. *Descărcările prin impuls* sînt caracterizate printr-o concentrare intensă a energiei electrice care se transformă în energie termică și mecanică. Densitatea volumică a energiei atinge valori pînă la

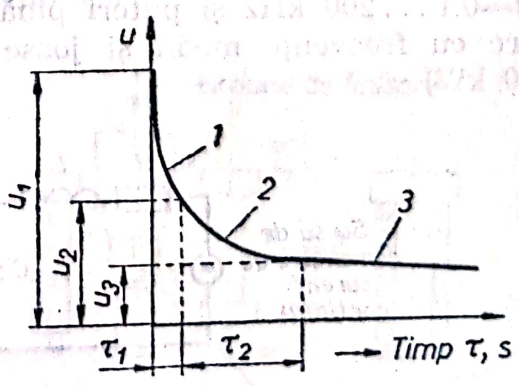


Fig. 9.9. Variația tensiunii în timp, în zona interstițiului.

30.000 J/mm³, iar cea de putere 300 kW/mm³, ceea ce produce încălzirea, topirea și vaporizarea substanței metalice care se prelucrează în zonele de interacțiune a coloanei descărcării. În jurul canalelor ionizate, cu temperatură ridicată, apar efecte de piroliză ale dielectricului, care dau naștere unor gaze în care 70% este hidrogen și 15 ... 20% acetilenă. În procesul de piroliză se consumă 4 ... 16% din energia impulsului.

Ca urmare a descărcărilor în impulsuri repetate, produsele eroziunii se aglomerează în spațiul dintre electrod și obiectul prelucrat. Ele trebuie îndepărtate fiindcă altfel se formează o peliculă de conductivitate permanentă, în care nu mai apar descărcări prin străpungere. Îndepărtarea se face hidrodinamic, cu ajutorul dielectricului. Dielectricul mai are și alte sarcini ca: răcirea electrodului și a materialului prelucrat, stimularea și formarea canalelor de ionizare. Pentru a satisface, aceste cerințe, dielectricul trebuie să aibe următoarele proprietăți: rezistență chimică față de acțiunea aerului, păstrarea viscozității, punct de inflamabilitate peste +40°C, stabilitate chimică, capacitate de deionizare ridicată, transparență etc. Păstrarea proprietăților dielectricului se face prin purificare, răcire și completare, în sistemul propriu de recirculație al mașinii. Ca dielectric se folosește: petrol, ulei, benzină, apă distilată, gaze etc.

Mașinile de prelucrat prin eroziune electrică pot fi *universale, speciale* și *specializate*. O mașină este compusă din următoarele părți: generatorul de impulsuri, rezervorul dielectricului cu instalația de recirculare, filtrare și răcire, partea mecanică. Partea mecanică a mașinii este formată din batiu, masa de fixare a semifabricatului și sistemul de prindere și poziționare în coordonate. Mișcarea de avans este realizată cu motoare hidraulice liniare.

Generatoarele pot fi cu acumulare (dependente) și fără acumulare (independente). În figura 9.10 se prezintă schema de principiu a unui generator cu energie înmagazinată în cîmp electric (generator *RC*). De la sursa de curent se alimentează, printr-o impedanță, un condensator. La bornele acestuia se contectează obiectul de prelucrat și electrodul. Circuitul se încarcă pînă la atingerea tensiunii necesare amorsării, cînd se produce descărcarea în stadiul scînteie sau scînteie-arc.

În figura 9.11 se prezintă schema de principiu a unui generator bazat pe întreruperea curentului cu elemente de comutație care pot fi: *tuburi elctronice* pentru prelucrări în scîntei (f=1 ... 1500 Hz și putere sub 15 kW); *tranzistoare* la descărcări în arc, de medie și înaltă frecvență (f=0,1 ... 200 kHz și puteri pînă la 25 kW); *tiristoare* la descărcări în arc cu frecvențe medii și joase (f = 0,1 ... 10 kHz și puteri pînă la 50 kW).

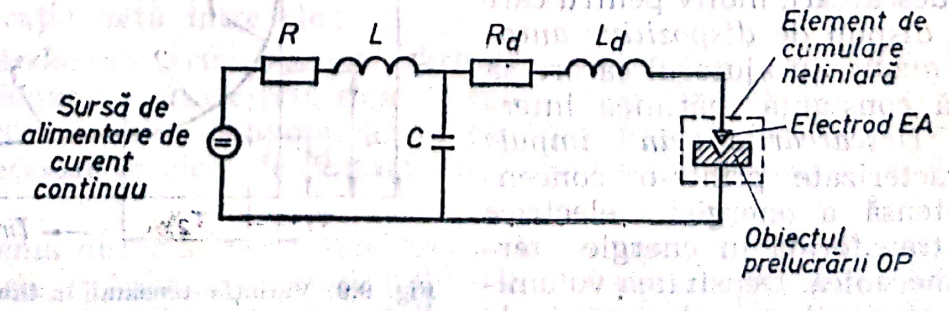


Fig. 9.10. Schema de principiu a generatorului de impulsuri *RC*.

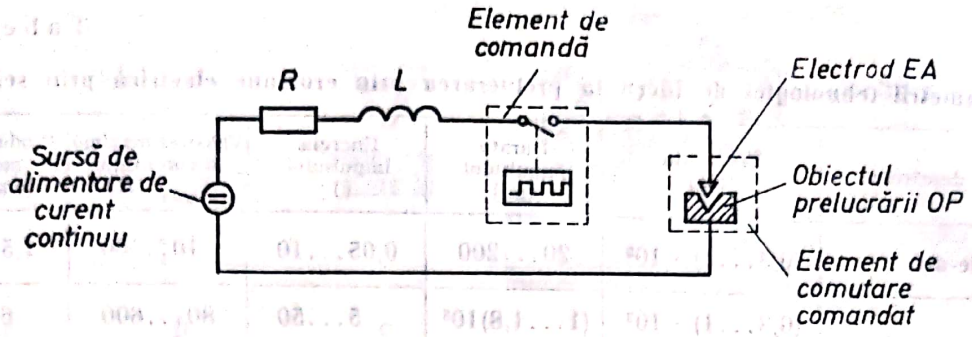


Fig 9.11. Schema de principiu a generatorului de impulsuri cu semiconductor.

Electrozii sînt constituiți dintr-o *parte activă*, care participă la generarea suprafeței și dintr-o *parte de prindere*, necesară pentru bazare și fixare. Partea de prindere poate fi confecționată din materiale conductoare mai ieftine. În figura 9.12 se prezintă cîteva variante constructive de electrozi. Dimensiunea d a suprafeței active a electrodului este: $d=D-2(S+C+Rz)$, în care D este dimensiunea orificiului; S — mărimea interstițiului de lucru; C — adaosul de prelucrare; Rz — rugozitatea suprafeței prelucrate.

Dependența între înălțimea microneregularităților H și energia impulsurilor este:

$$H = C_H \left(\frac{i_M \cdot u_M}{f}\right)^p, \qquad (9.3)$$

unde: C_H este un coeficient funcție de material, egal cu 190 la oțeluri și aliaje de cupru și 67 la aliaje dure; p — un exponent egal cu 0,33... 0,4; i_M — intensitatea medie a curentului, în A; u_M — tensiunea medie a curentului, în V; f — frecvența, în Hz.

Rugozitatea suprafeței prelucrate crește la mărirea intensității curentului și la micșorarea frecvenței. Întrucît procesul tehnologic cuprinde *faze de degroșare și finisare*, rezultă că la degroșare se recomandă intensități mari ale curentului și frecvențe reduse, iar la finisare intensități mici și frecvențe ridicate. În tabelul 9.1 se prezintă parametrii tehnologici de lucru.

Alegerea materialelor pentru electrozi se face ținînd cont de uzura relativă și randamentul prelucrării, indicațiile bibliografice fiind prezentate în tabelul 9.2. Rezultatele unor cercetări proprii la folosirea aliajelor wolfram-cupru sînt arătate în tabelul 9.3.

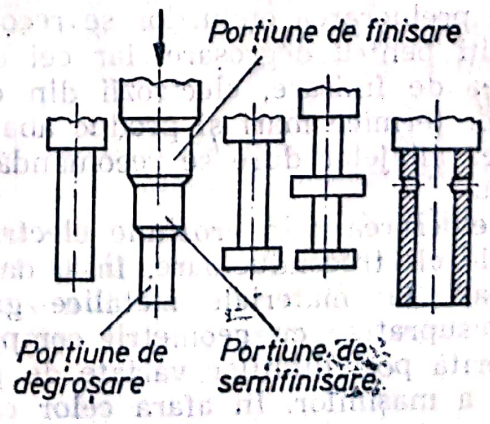


Fig. 9.12. Forme caracteristice pentru electrozi, la execuția orificiilor.

Tabelul 9.1

Parametrii tehnologici de lucru la prelucrarea prin eroziune electrică prin scînteie

Forma descărcării	Frecvența [Hz]	Durata impulsului [μs]	Energia impulsului [J]	Valoarea maximă a curentului i_{max} [A]	Productivitatea maximă [mm³/min]
Scînteie-arc	$(0,3...1) \cdot 10^3$	20...200	0,05...10	10...60	$1,5 \cdot 10^3$
Arc	$(0,3...1) \cdot 10^3$	$(1...1,8)10^3$	5...50	80...600	$6 \cdot 10^3$

Tabelul 9.2

Indicatorii comparativi de randament, privind folosirea electrozilor din cupru sau wolfram—cupru la prelucrările electroerozive

Natura prelucrării	Materialul electrodului	
	Cupru	Wolfram—cupru
Degroșarea oțelurilor aliate	3...5	7...9
Eboșarea aliajelor dure	0,6...0,8	4...6
Finisarea oțelurilor aliate	2...4	3...5
Finisarea aliajelor dure	0,5...0,7	3...5

Tabelul 9.3

Exemplificări privind indicatorii obținuți cu electrozi wolfram-cupru la prelucrările electroerozive

Indicatorul tehnico-economic	Unități de măsură	La prelucrarea oțelurilor de scule	La prelucrarea aliajelor dure
Uzura relativă a electrodului	%	2...20	40...50
Productivitatea	mm³/min	10...30	2...10
Viteza de prelucrare specifică	mm³/A·min	0,6...1,5	0,2...0,8

La prelucrarea oțelurilor se recomandă ca electrozii din cupru să fie folosiți pentru degroșare, iar cei din grafit pentru finisare. La prelucrarea de finisare, electrozii din cupru se deformează datorită solicitărilor termice mari și produc abateri dimensionale la piese. La prelucrarea aliajelor dure se recomandă utilizarea electrozilor din wolfram-cupru.

Prelucrarea prin eroziune electrică se poate practica la toate materialele electroconductoare, însă, datorită eficienței economice, ea se limitează la: materiale metalice greu prelucrabile prin procedee clasice, suprafețe cu geometrii complexe, prelucrări cu dimensiuni mici. Datorită posibilităților variate de prelucrare, s-a produs și o diversificare a mașinilor. În afara celor care lucrează prin copiere, au apărut

Scanned with OKEN Scanner

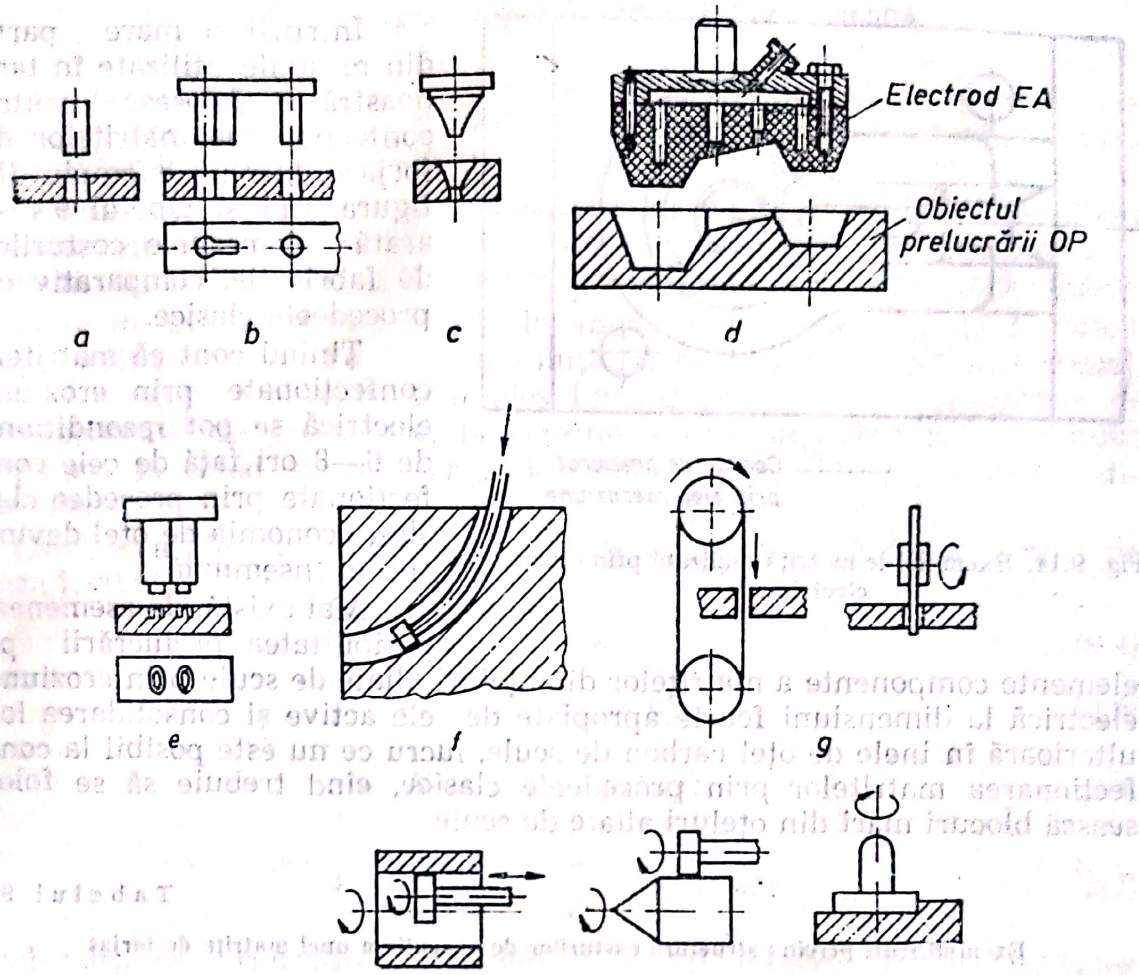


Fig. 9.13. Exemple de lucrări la prelucrarea prin eroziune electrică.

mașini de prelucrat cu electrod-sculă rotativ, mașini de tăiat cu disc sau cu fir, mașini de rectificat etc.

În țara noastră s-a asimilat fabricația mașinii ELER-01 de prelucrat prin copiere, dotată cu un generator tranzistorizat de 50A, cu sistem de lucru în regim pulsator reglabil continuu, cu centrarea piesei pe masa în trei direcții, dimensiunile mesei 600×400 mm, debitul dielectricului 140 l/min, presiunea 40 N/cm² etc. Sînt în curs de asimilare, respectiv se fabrică deja și alte mașini mai mari sau mai mici, precum și mașini de tăiat cu fir (ELEROFIL).

În figura 9.13 se prezintă cîteva din operațiile care se pot executa prin eroziune electrică: perforarea orificiilor rotunde sau cu profilul oarecare (fig.9.13, *a*) aplicată sculelor, ștanțelor, (dimensiunile orificiilor pot ajunge pînă la diametre de 0,02 . . . 0,1 mm); perforarea simultană a două sau mai multe orificii (fig. 9.13, *b*) aplicată plăcilor de matrițe, filiere pentru trefilare sau de injectat mase plastice; prelucrarea filierelor din aliaje dure (fig. 9.13, *c*); prelucrarea matrițelor de forjat, matrițelor de presat mase plastice și cauciuc (fig. 9.13, *d*); operații de gravare și inscripții (fig. 9.13, *e*); prelucrarea orificiilor curbilinii (fig. 9.13, *f*); tăierea contururilor cu bandă sau disc (fig. 9.13, *g*); rectificarea suprafețelor cilindrice și plane (fig. 9.13, *h*).

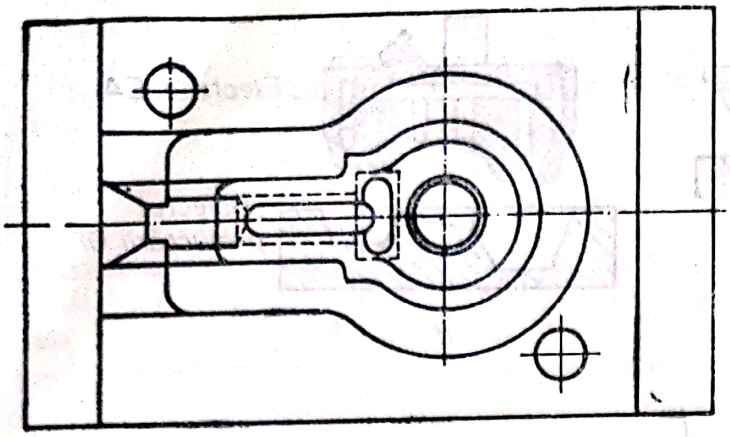


Fig. 9.14. Exemplu de matriță realizată prin eroziune electrică.

Întrucît o mare parte din mașinile utilizate în țara noastră se folosesc pentru confecționarea matrițelor de forjare, într-un exemplu din figura 9.14 și tabelul 9.4 se arată elementele costurilor de fabricație, comparativ cu procedeele clasice.

Ținînd cont că matrițele confecționate prin eroziune electrică se pot recondiționa de 6—8 ori față de cele confecționate prin procedee clasice, economia de oțel devine și mai însemnată.

Mai există, de asemenea, posibilitatea prelucrării pe elemente componente a matrițelor din oțeluri aliate de scule prin eroziune electrică la dimensiuni foarte apropiate de cele active și consolidarea lor ulterioară în inele de oțel carbon de scule, lucru ce nu este posibil la confecționarea matrițelor prin procedeele clasice, cînd trebuie să se folosească blocuri mari din oțeluri aliate de scule.

Tabelul 9.4

Exemplificări privind structura costurilor de execuție a unei matrițe de forjat

Element	În vechea tehnologie de prelucrare [lei/buc]	Prelucrarea prin electroeroziune [lei/buc]
Material	2042	2042
Electrod pentru prelucrarea materialului	—	20
Manoperă operații comune în cele două tehnologii	881	881
Frezat locaș	50	—
Craițuit cu dalta	81	—
Ajustat contur cu biax	216	—
Ajustat contur manual	109	—
Prelucrat electrod	—	7
Electroerodare	—	73
Costuri de fabricație	2242	1400
Total costuri de execuție	5621	4423

Scanned with OKEN Scanner

9.3. PRELUCRAREA PRIN EROZIUNE ELECTROCHIMICA

Prelucrarea prin eroziune electrochimică se bazează pe fenomene de dizolvare anodică, ca urmare a cîmpului electric format între cei doi electrozi cufundaţi într-un electrolit.

Principalele avantaje ale metodei sînt productivitatea mare în raport cu alte metode neconvenţionale, calitatea superioară a suprafeţei prelucrate, lipsa transformărilor structurale şi a tensiunilor superficiale.

Piesa de prelucrat este legată la anod, iar electrodul sculă la catod. Ionii pozitivi de la anod trec în soluţie şi reacţionează cu ioni negativi, formînd compuşi chimici, mai ales hidraţi metalici. Spre deosebire de alte procedee de prelucrare, la eroziunea electrochimică nu se produc depuneri la catod şi, ca atare, electrodul sculă nu este modificat dimensional.

Cantitatea efectivă de metal erodat de la anod, se poate determina pe baza legilor lui Faraday cu relaţiile:

$$m_{ef} = m_t \cdot \eta_t \ [\mathrm{g}]; \tag{9.4}$$

$$m_t = K \cdot I \cdot \tau \ [\mathrm{g}]; \tag{9.5}$$

$$K = \frac{A}{Z \cdot F} \ [\mathrm{g/As}]; \tag{9.6}$$

$$V = \frac{I \cdot \tau}{96.500} \eta_t \cdot \frac{A}{Z} \cdot \frac{1}{\rho_m} \ [\mathrm{cm^3}], \tag{9.7}$$

unde: m_{ef} este cantitatea efectivă de metal erodat; m_t — cantitatea teoretică de metal erodat; η_t — randamentul de curent; K — echivalentul electrochimic al substanţei, în g/As; τ — timpul, în s; I — curentul, în A; A — greutatea atomică a metalului supus erodării; Z — valenţa metalului; F — 96.500 este numărul lui Faraday, în As; V — volumul de material erodat, în cm^3; ρ_m — densitatea metalului, în g/cm^3.

Productivitatea prelucrării este cu atît mai mare cu cît densitatea de curent la suprafaţa piesei este mai mare şi aceasta pînă la o anumită valoare. În urma procesului, pe suprafaţa prelucrată se formează *o peliculă de pasivizare*, care împiedică desfăşurarea în continuare a eroziunii. Ea poate fi împiedicată natural sau hidrodinamic şi mecanic. În cazul procesului de prelucrare cu *depasivizare naturală*, pelicula se elimină cu ajutorul forţelor rezultate din degajarea gazelor.

Această metodă se aplică pentru operaţii de curăţire, lustruire, debavurare. Schema de principiu este arătată în figura 9.15. Pe suprafaţa cu asperităţi a obiectului de prelucrat se formează o peliculă vîscoasă,

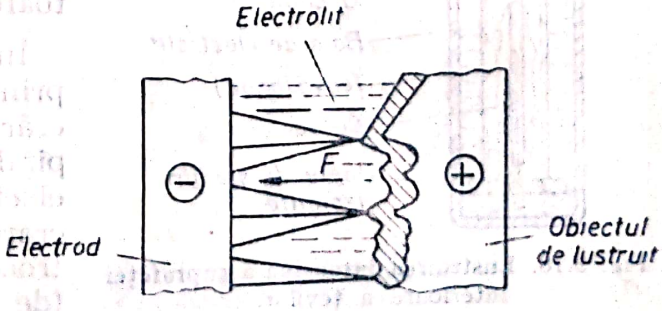


Fig. 9.15. Schema de principiu a ustruirii prin eroziune electrochimică.

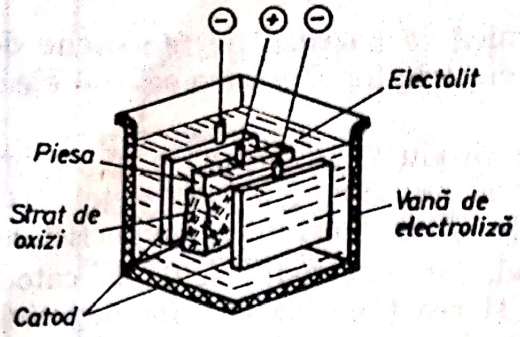


Fig. 9.16. Curățirea suprafețelor de oxizi, prin dizolvare anodică.

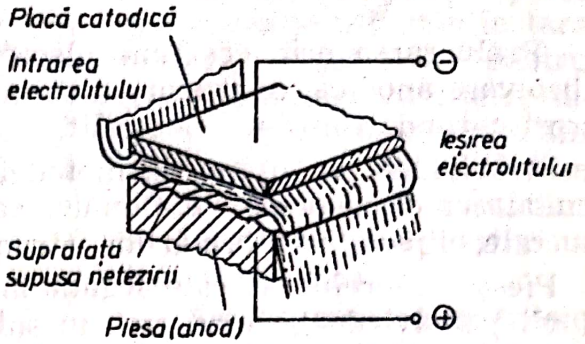


Fig. 9.17. Netezirea electrochimică a suprafeței unei piese.

cu grosime neregulată, mai mare în adînciturі, față de cea de la vîrful asperităților. Datorită concentrației cîmpului electric, dizolvarea va începe în regiunea vîrfurilor, ceea ce produce nivelarea neregularităților (lustruire electrolitică). Vanele sînt similare cu cele de la acoperirile galvanice, construite din metal și căptușite cu masă plastică sau lemn, pentru a rezista la coroziune. Sursele de energie sînt generatoare de curent continuu cu tensiune mică, 6 ... 12 V, intensitatea fiind 5 ... 25 A/dm² pentru electroliții reci și 40 ... 280 A/dm² pentru electroliții calzi. Electrozii se execută din materiale electroconductoare, rezistente la coroziune și se amplasează la o distanță de 40 ... 100 mm de piesa de prelucrat.

Dintre procesele de prelucrare, cele mai folosite sînt: curățirea suprafețelor de oxizi, netezirea și lustruirea, care sînt arătate în figura 9.16, 9.17 și 9.18.

Prelucrarea prin eroziune electrochimică cu *depasivizare hidrodinamică* se bazează pe îndepărtarea peliculei de hidroxizi metalici ca urmare a acțiunii mecanice a electrolitului care se introduce, cu presiune ridicată, între obiectul de prelucrat și electrod. Cantitatea de metal erodată m , în g, este invers proporțională cu distanța dintre electrozi:

$$m_i = K \cdot I \cdot \tau = K \frac{U}{R_i} \cdot \tau = K \frac{U}{K_i S_i} \cdot \tau, \qquad (9.8)$$

în care: K și K_i sînt două constante; I — intensitatea curentului, în A; τ — timpul, în s; U — tensiunea la electrozi, în V; R_i — rezistența electrolitului, în Ω; S_i — distanța dintre electrozi, în mm, corespunzătoare rezistenței R_i.

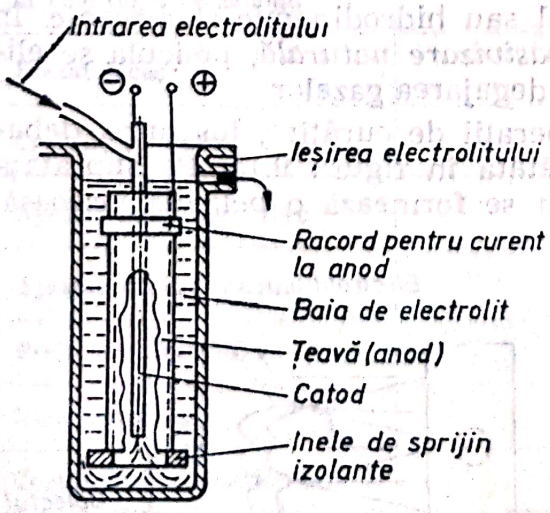


Fig. 9.18. Lustruirea intensivă a suprafeței interioare a țevilor.

În figura 9.19 se arată schema de principiu a unei asemenea prelucrări. Precizia piesei obținute depinde de precizia de prelucrare a electrodului. Se folosește la prelucrarea materialelor și aliajelor electroconductoare dure și foarte dure (de exemplu din carburi metalice)

Scanned with OKEN Scanner

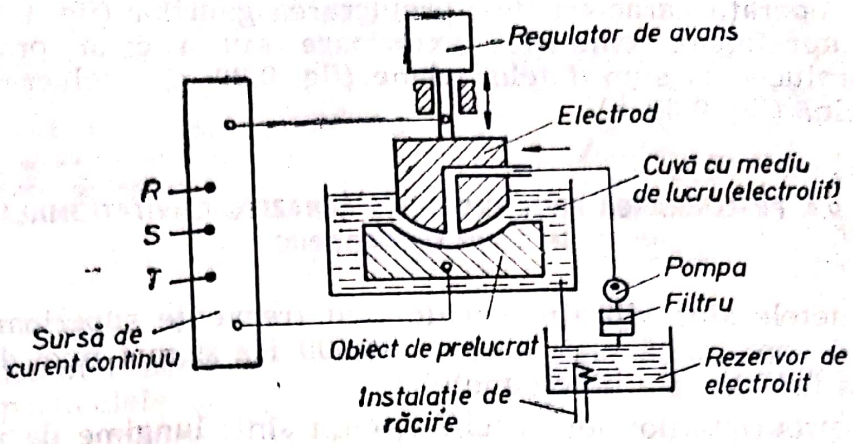


Fig. 9.19. Schema de principiu a prelucrării prin eroziune electrochimică.

ca și a materialelor cu caracteristici termofizice superioare. Cele mai folosite sînt reproducerile prin copiere a suprafețelor de lucru ale matrițelor, paletele de turbine, diferite organe de mașini etc. Electrozii se confecționează din oțeluri inoxidabile, alame, bronzuri, aliaje de aluminiu. Prelucrarea lor se face prin așchiere sau electrochimic, cu polaritate inversă, utilizînd drept catozi piese de aceiași configurație. Pentru a reduce abaterile la formă ale pieselor prelucrate, se izolează zonele catodului care nu trebuie să participe la erodarea anodului. Pentru economia de metal, electrozii se mai pot confecționa din mase plastice, ceramică etc., pe care se depune apoi o folie conductoare de curent. Productivitatea de lucru variază direct proporțional cu intensitatea curentului, însă aceasta este limitată de încălzirea excesivă a electrolitului care nu trebuie să depășească 20 . . . 75°C. Distanța dintre electrozi trebuie să rămînă constantă, între 0,05 . . . 0,8 mm, valorile maxime fiind indicate pentru finisare și cele minime pentru degroșare. La prelucrarea oțelului se folosesc soluții apoase de clorură de sodiu cu acid boric și soluții apoase de fluoruri și acid fluorhidric. În figura 9.20 sînt prezen-

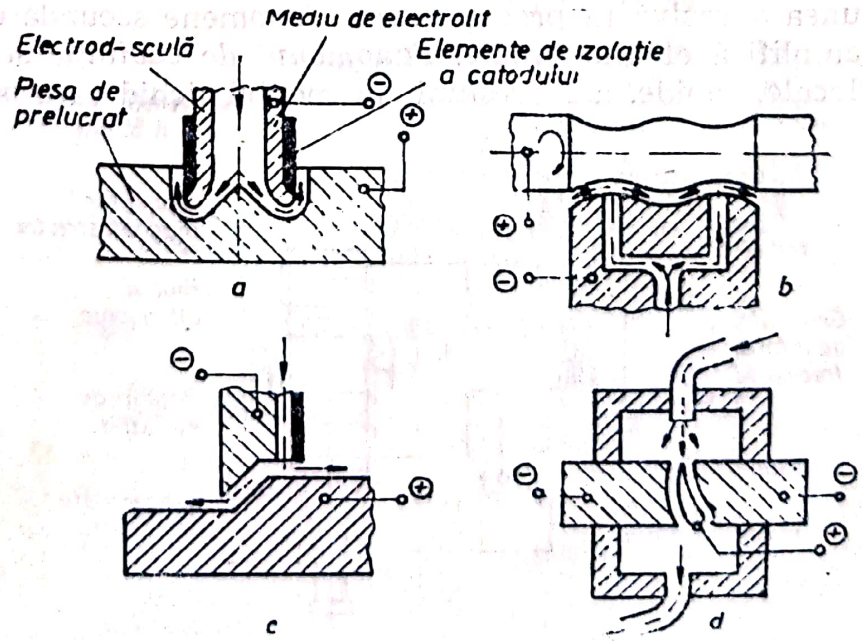


Fig. 9.20. Exemple de prelucrări prin eroziune electrochimică cu depasivizare hidrodinamică.

tate grafic operații caracteristice: prelucrarea găurilor (fig. 9.20, *a*); prelucrarea suprafețelor cilindrice exterioare sau a celor profilate (fig. 9.20, *b*); prelucrarea suprafețelor plane (fig. 9.20, *c*), prelucrarea paletelor de turbină (fig. 9.20, *d*).

9.4. PRELUCRAREA PRIN EROZIUNE ABRAZIVO-CAVITAȚIONALĂ ÎN CÎMP ULTRASONIC

Ultrasunetele sînt vibrații acustice, cu frecvențe superioare celor ce se percep de om, adică mai mari de 16.000 Hz și mai mici decît 10.000 MHz, limita inferioară a hipersunetelor.

Datorită proprietăților lor specifice, cum sînt: lungime de undă mică; posibilitatea de dirijare în spațiu prin reflexie, refracție și difracție; transport de energie în mediu elastic de propagare; posibilitatea de concentrare în spații limitate; ridicarea temperaturii mediului în care se propagă; declanșarea unor reacții chimice etc., ultrasunetele își găsesc azi aplicații în cele mai variate domenii ale tehnicii. Ultrasunetele se produc cu ajutorul unor traductoare mecanice, piezoelectrice sau magnetostrictive, acestea din urmă fiind cu cele mai bune rezultate.

Blocul ultrasonic magnetostrictiv este prezentat în figura 9.21. Funcționarea blocului se bazează pe fenomenul de magnetostricțiune care constă în modificarea dimensiunilor geometrice ale unui cap feromagnetic sub acțiunea unui cîmp magnetic variabil. El se compune dintr-un *traductor*, care transformă energia cîmpului magnetic în energie ultrasonică și *concentratorul*, care mărește amplitudinea de vibrație și concentrează energia ultrasonică în secțiune. Traductorul se confecționează din nichel, aliaje de cobalt, ferite din titanat de bariu. Energia ultrasonică a corpului ajutător (sculă de prelucrare) se transmite unor *particule abrazive*, purtate de o *suspensie lichidă*. Particulele abrazive desprind, prin șoc, părți din metal sub formă de așchii foarte mici (fig. 9.22). Pe lîngă eroziunea abrazivă în proces apar și fenomene secundare, de cavitație care amplifică efectul eroziv. *Fenomenul de cavitație* se datorește variațiilor locale, rapide, ale presiunii în mediul lichid care produc mo-

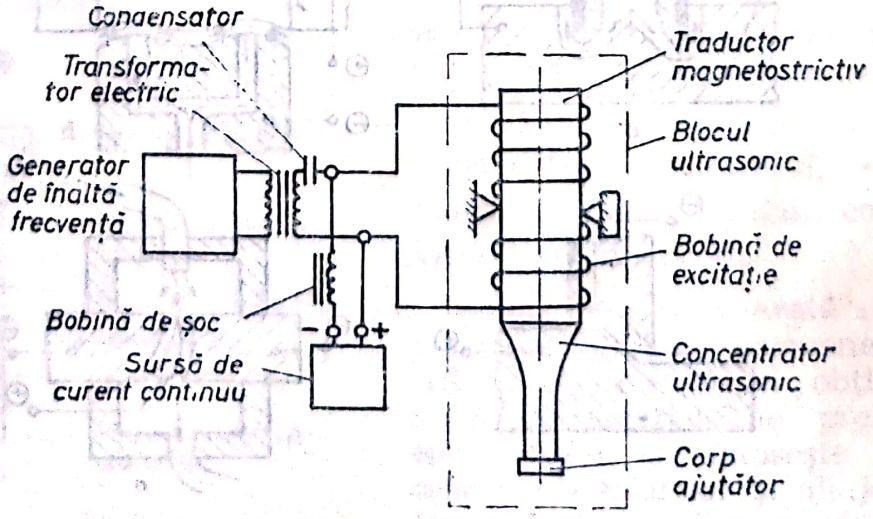


Fig. 9.21. Blocul ultrasonic magnetostrictiv.

Scanned with OKEN Scanner

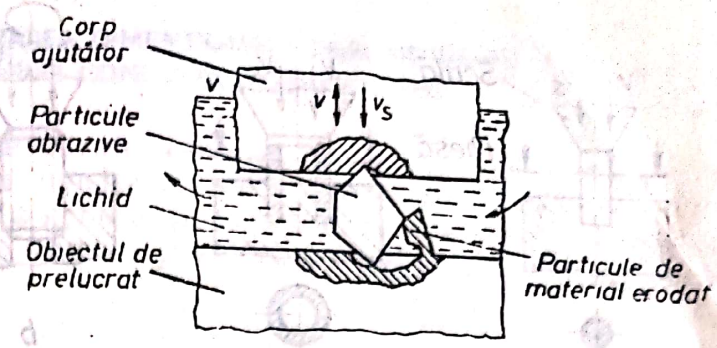


Fig. 9.22. Principiul prelucrării prin eroziune abrazivo-cavitațională și cîmp ultrasonic.

dificarea distanței medii dintre particulele abrazive din lichid. În timpul eroziunii, particulele abrazive își rotunjesc muchiile și își pierd astfel capacitatea de erodare. Efectul de șoc al substanței abrazive se realizează prin presiunea de lucru de 5 . . . 40 N/cm². Mișcarea principală este determinată de oscilația longitudinală, a cărei viteză v este:

$$v = \frac{4fA}{1000} \quad [\text{m/s}], \tag{9.9}$$

în care: f este frecvența oscilațiilor; A — amplitudinea, în mm, egală cu 0,01 . . . 0,06 mm. Generarea suprafețelor se realizează prin copiere, schema de principiu fiind prezentată în figura 9.23. Blocul ultrasonic, transmite energia *corpului ajutător — sculă* și de aici *agentului eroziv* din spațiul de lucru. Corpul ajutător se fixează de concentrator prin lipire sau filetare și este construit din oțeluri carbon sau oțeluri aliate de scule. Ca substanțe abrazive se folosesc: carbura de bor, carbura de siliciu și electrocorindonul, granulația optimă fiind de 60 . . . 120 micrometri.

Prelucrarea prin eroziune abraziv-cavitațională în cîmp ultrasonic se aplică, în special, la prelucrarea materialelor fragile sau extradure. Cu cît fragilitatea este mai mare, cu atît prelucrabilitatea este mai bună. Este vorba în special de sticlă, cuarț, ceramică, diamant, ferite și mai puțin despre aliaje dure și oțeluri. La Institutul politehnic Traian Vuia

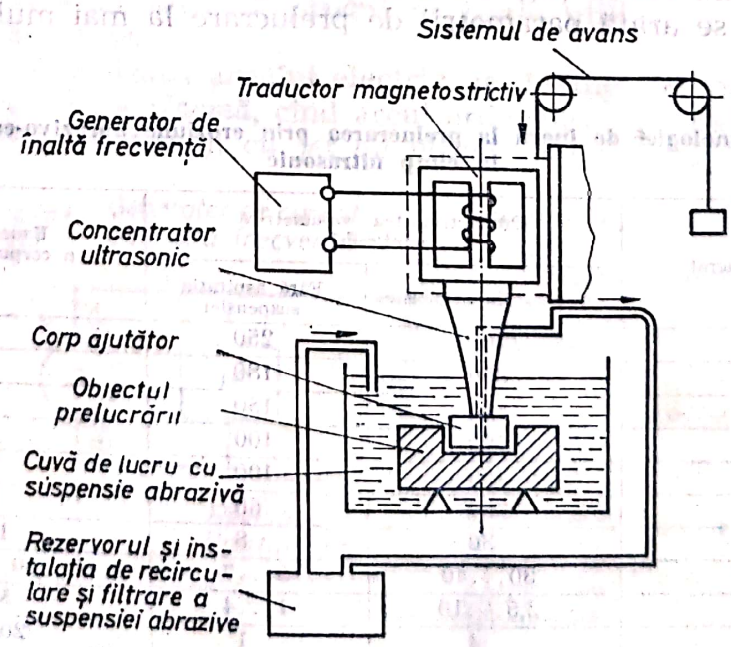


Fig. 9.23. Schema de principiu a unei mașini pentru prelucrarea abrazivo-cavitațională în cîmp ultrasonic.

Scanned with OKEN Scanner

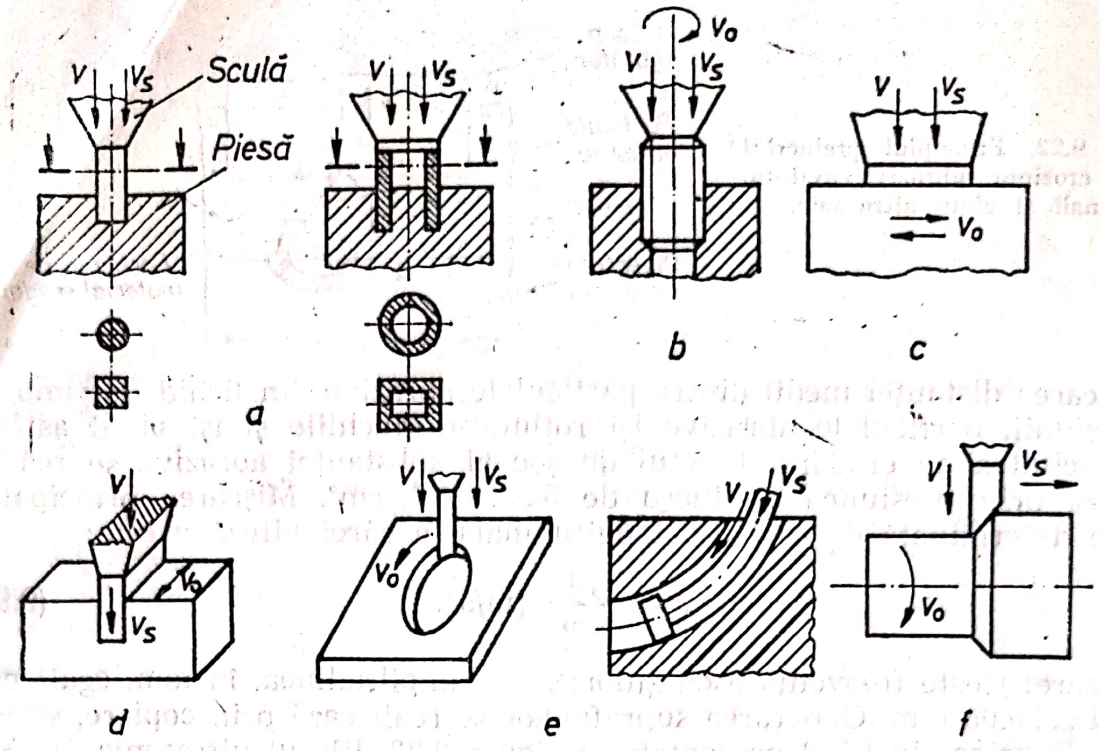


Fig. 9.24. Exemple de prelucrări abrazivo-cavitaționale în cîmp ultrasonic.

Timișoara, s-a conceput mașina MPU-01/300, cu o putere de 300 W; gama frecvențelor 18 . . .30 KHz; suprafața maximă prelucrabilă 150 mm²; capacitatea de prelucrare pentru sticlă 200 mm³/min; cursa activă 45 mm; în suspensie 30 . . . 50% CSi sau CB_4.

Principalele operații care pot fi executate prin acest procedeu sînt prezentate în figura 9.24: găurirea unor aliaje (fig. 9.24, *a*); filetare ultrasonică exterioară și interioară (fig. 9.24, *b*); rectificarea suprafețelor plane (fig. 9.24, *c*); retezarea și prelucrarea canalelor (fig. 9.24, *d*); găuri și canale cu axa curbă (fig. 9.24, *e*); strunjirea exterioară (fig. 9.24, *f*). În tabelul 9.5 se arată parametrii de prelucrare la mai multe materiale

Tabelul 9.5

Parametrii tehnologici de lucru la prelucrarea prin eroziune abrazivo-cavitațională în cîmp ultrasonic

Materialul prelucrat	Productivitatea volumetrică [mm³/min]		Uzura relativă a corpului ajutător [%]
	Cu aspirația suspensiei	Fără aspirația suspensiei	
Sticlă	1200	250	1
Germaniu	800	180	3
Ferită	800	150	3
Grafit	500	100	1
Cuarț cristalizat	400	100	2,5
Ceramică	250	50	6
Rubin, safir	30	8	10
Carburi metalice	30...40	5...7	50...80
Carburi de bor	2,5...10	1...4	50
Oțel rapid	4	1	200
Diamant	—	0,05	1000

Scanned with OKEN Scanner

9.5. PRELUCRAREA DIMENSIONALĂ PRIN EROZIUNE CU ENERGII CONCENTRATE (FASCICULE)

Sursele de energii concentrate (plasma, radiațiile corpusculare sau cele electromagnetice), cu densitate mare de energie, focalizate asupra unei piese de prelucrat, pot genera, pe locul de interacțiune, temperaturi foarte înalte, capabile să asigure prelucrarea prin eroziune a oricărui material.

9.5.1. Prelucrarea prin eroziune cu plasmă

Un gaz sau un amestec de gaze puternic ionizat (compus din molecule, atomi, ioni și electroni), electric cvazineutru, se numește *plasmă*. Plasma posedă conductivitate electrică mare, interacționează cu cîmpurile electrice și magnetice și este o sursă de radiații electromagnetice cu spectru larg: infraroșu, vizibil și ultraviolet. În construcția de mașini se folosește plasma cu (10 ... 30). 10^3 °C, ce se obține în coloana arcului electric, căreia i se ridică temperatura prin comprimare radială.

Plasma se realizează în *generatoare (plasmatroane)* în care coloana arcului electric este obligată, sub acțiunea jetului de gaz, să treacă prin spațiul limitat (comprimare radială) al duzei (fig. 9.25) cu pereți dubli, pentru a se răci cu apă. În acest fel energia se concentrează puternic în zona axială a coloanei din cauza răcirii la periferie (duza) și, deci, deionizării (reducerii conductivității electrice), ceea ce determină creșterea densității de curent în zona centrală. Acest fenomen conduce la creșterea forțelor electromagnetice orientate înspre axa arcului în secțiunea transversală, care ajută creșterii și mai mari a constricției radiale. Stratul tubular de gaz mai rece al coloanei de plasmă (în duză) se comportă ca un ecran termic și electric, asigurînd menținerea unei temperaturi foarte ridicate în zona centrală. Pentru o concentrare și mai puternică a coloanei de plasmă se poate utiliza un cîmp magnetic exterior suplimentar.

După modul realizării arcului electric, se disting trei variante de plasmatroane: *cu arc de plasmă*, cînd arcul arde între electrod (catod) și obiectul de prelucrat (anod); *cu jet de plasmă*, cînd arcul arde între elec-

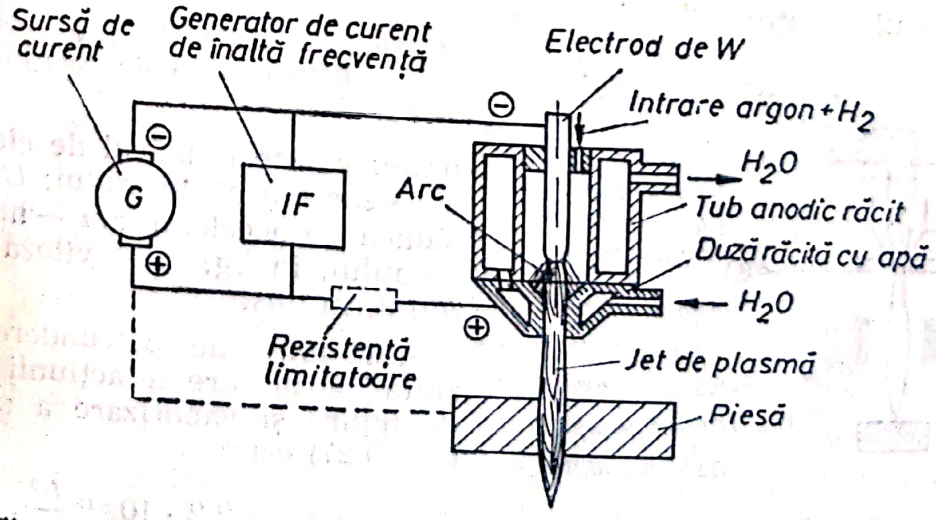


Fig. 9.25. Schema de principiu a unei instalații de prelucrat cu plasmă.

trod (catod) și duză (anod), plasma fiind suflată de către presiunea gazelor sub formă de jet; *cu arc și jet de plasmă suprapus*, cînd polul pozitiv al sursei de curent este legat, atît la duză, cît și la obiectul de prelucrat (piesa).

Sursa de curent continuu poate avea puteri între 1 ... 10 kW, la 200 ... 250 V (convertizoare de sudare legate în serie sau redresoare cu semiconductori). Generatorul de curent de înaltă frecvență (fig. 9.25) ajută la amorsarea descărcării. Dispozitivele de deplasare asigură generarea suprafețelor la prelucrările dimensionale.

Gazele monoatomice (Ar, He) asigură o stabilitate mai mare a arcului de plasmă și o durabilitate mai bună a duzei răcite de cupru, cele biatomice (H_2, N_2) conduc la un transfer mai mare de căldură, deoarece se descompun (disociază) în coloana arcului (reacție endotermă) și se recombină la obiectul de prelucrat (cu degajare puternică de căldură).

Prelucrarea cu plasmă se aplică, de regulă, la tăiere, cilindrare (strunjire) și filetare exterioară etc. La tăierile de grosimi sub 10 mm se folosește jet de plasmă, iar la $s > 10$ mm, arc de plasmă. Aceste operații se aplică la orice material, dar se preferă la oțeluri inoxidabile, aluminiu și aliajele sale etc. Vitezele de prelucrare la unele materiale pot fi de 5 ... 10 ori mai mari, decît la așchiere. La tăiere, calitatea suprafeței astfel tăiate este net superioară celei cu flacără de gaze și tăieturile vor avea o lățime mică.

Plasma se mai folosește la metalizare, la sudare, la prelucrări de suprafață, la retopirea unor aliaje în scopul rafinării lor și altele, găsindu-și în tehnica modernă mereu noi domenii de aplicare.

9.5.2. Prelucrarea prin eroziune cu radiații

Cele mai utilizate variante ale procesului de prelucrare prin radiații sînt: prelucrarea cu fascicul de electroni și prelucrarea cu fascicul de fotoni.

9.5.2.1. **Prelucrarea cu fascicul de electroni.** Fasciculul de electroni cu densitate și energie cinetică mare, accelerat, focalizat, este comandat într-un spațiu cu grad avansat de vid (fig. 9.26). Energia transportată de fasciculul E este:

$$E = neU = n\frac{mv^2}{2}\ [\text{J}], \qquad (9.10)$$

unde: n este numărul de electroni; e — sarcina electronului; U — tensiunea de accelerare; m — masa electronului, în kg; v — viteza electronului, în m/s.

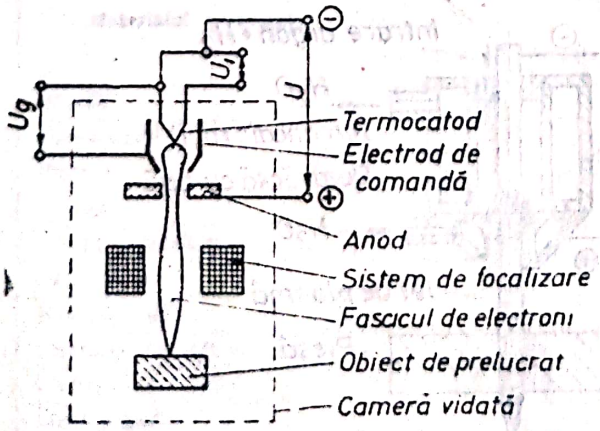


Fig. 9.26. Schema de principiu a prelucrării cu fascicul de electroni.

Adîncimea de pătrundere care rezultă ca urmare a acțiunii termice de topire și vaporizare a metalului (fig. 9.27) este:

$$x_p = 2{,}2 \cdot 10^{-12}\frac{U^2}{\rho}, \qquad (9.11)$$

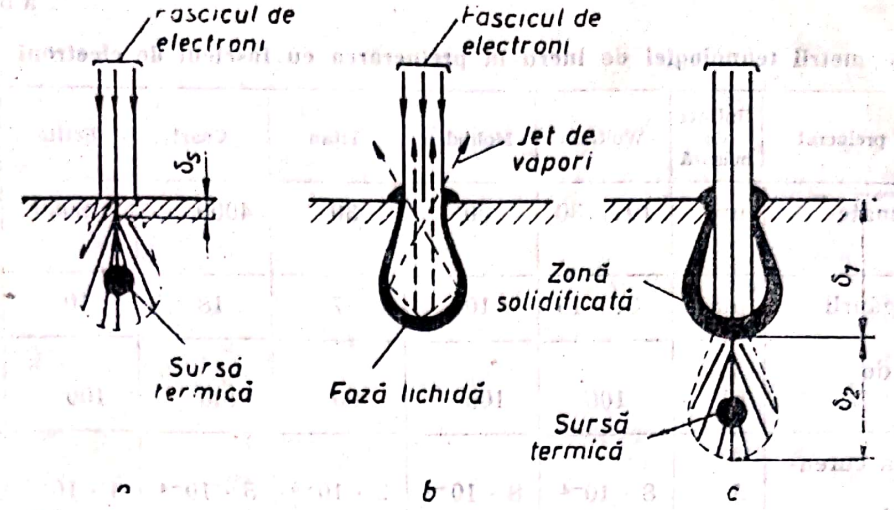


Fig. 9.27. Schema de principiu a procesului de eroziune cu fascicul de electroni: *a* — formarea sursei termice; *b* — formarea caracterului de eroziune; *c* — repetarea impulsului; δ_1, δ_2 — adîncimile prelucrate.

unde: U este tensiunea de accelerare; ρ — densitatea materialului, în g/cm³. Presiunea vaporilor expulzează materialul din zona de grosime δ_s (temperatura fiind 6000°C), formînd craterul de eroziune. La distanțe mici, de numai 1 micrometru de crater, temperatura nu depășește 350... 400°C. Conectarea fasciculului se face prin impulsuri cu durată mică, de 10^{-6}... 10^{-4} s și frecvență ridicată, 10^2... 10^4 Hz. Impulsurile următoare creează noi cratere. O instalație de prelucrat cu fascicul de electroni este formată dintr-un tun electronic, sursele de alimentare cu energie electrică, sistemul de vidare, camera de lucru vidată și dispozitivele auxiliare. Alimentarea cu energie electrică se face cu surse separate pentru diferitele părți ale instalației. Sistemul de vidare cuprinde pompe mecanice cu palete, pentru vid preliminar și pompe de vid avansat, de difuzie, cu ulei sau mercur. Dispozitivele auxiliare asigură deplasarea relativă între fasciculul de electroni și obiectul de prelucrat. Deplasări mici, pînă la 6 mm, se pot realiza prin completarea sistemului electrono-optic cu o bobină de deflecție stigmator, care deviază fasciculul pe un contur tehnologic, ca în figura 9.28. Prelucrarea dimensională este posibilă în cazul în care cantitatea de căldură, folosită pentru încălzirea, topirea și vaporizarea metalului, este mai mare decît căldura pierdută prin conducție și radiație. Această tehnologie de prelucrare este limitată de necesitatea vidării spațiului de lucru și utilizării unei tensiuni înalte. Este suficientă numai la executarea unor piese cu dimensiuni relativ mici, din materiale greu prelucrabile, la obținerea unor orificii cu dia-

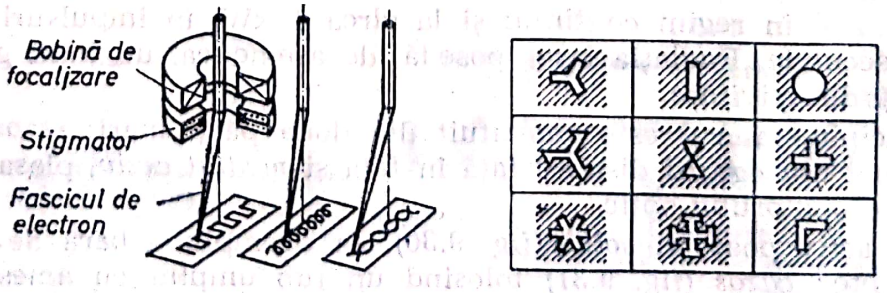


Fig. 9.28. Prelucrarea cu fascicul de electroni prin deflecție.

Tabelul 9.6

Parametrii tehnologici de lucru la prelucrarea cu fascicul de electroni

Materialul prelucrat	Unitate de măsură	Wolfram	Molibden	Titan	Cuarț	Ferită	Sticlă
Grosimea materialului	μm	10...30	30	30	4000	2000	1000
Diametrul găurii	μm	8...15	10	7	18	10	15
Tensiunea de accelerare	kV	100	100	80	100	100	100
Intensitatea curentului	A	$8 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$
Puterea specifică	$\frac{W}{cm^2}$	$1,6 \cdot 10^{8}$	$5,6 \cdot 10^{7}$	$4,1 \cdot 10^{6}$	$1,96 \cdot 10^{7}$	$5 \cdot 10^{7}$	$3,4 \cdot 10^{7}$
Viteza de vaporizare	g/s	$2,9 \cdot 10^{-10}$	$8,47 \cdot 10^{-10}$	$7,8 \cdot 10^{-10}$	$1,02 \cdot 10^{-7}$	$3,6 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$

metre de dimensiuni mici și a fantelor înguste. Este vorba de diametre sub 0,1 mm în aliaje dure, în ceramică, sticlă, materiale plastice etc. În tabelul 9.6 se prezintă parametrii tehnologici de lucru pentru cîteva materiale. La orificii mici, s-a constatat o lipsă de precizie a dimensiunilor. Rezultate calitativ bune se obțin la orificiile de 25...50 micrometri. Productivitatea prelucrării este de aproximativ 0,8 s/orificiu.

Fasciculul de electroni se poate folosi și la unele depuneri. Într-o astfel de instalație (fig. 9.29) metalul care se depune, așezat într-un creuzet, constituie anodul, iar fasciculul de electroni emiși de termocatod este deviat și focalizat electrostatic de către electrodul de comandă. Vaporii rezultați din eroziunea anodului se condensează în vid, pe suportul care trebuie acoperit.

9.5.2.2. **Prelucrarea cu fascicul de fotoni.** Fasciculul se realizează în generatoare cuantice de radiații, numite în literatura de specialitate *lasere*. Principiul de funcționare al generatoarelor laser se bazează pe absorbția de energie de către un mediu activ și emiterea acesteia sub formă de radiație stimulată. Laserul este un generator de radiații electromagnetice, cu lungimi de undă începînd de la ultraviolet pînă la infraroșu. Deosebirea de sursele de lumină clasice, constă în faptul că radiația emisă de laser este foarte intensă, ajungînd la valori de ordinul zecilor de kW în regim continuu și la circa 1 kW, în impulsuri scurte de 10^{-13} secunde. Radiația laser posedă, de asemenea, un înalt grad de coerență și directivitate.

În principiu, laserul este constituit din două părți mari: *rezonatorul optic* format din oglinzi dispuse față în față și *mediul activ*, plasat între oglinzile rezonatorului optic.

Mediul activ poate fi *solid* (fig. 9.30), ca exemplu o bară de rubin, de sticlă etc.; *gazos* (fig. 9.31) folosind un tub umplut cu amestec de gaze; *lichid*.

Scanned with OKEN Scanner

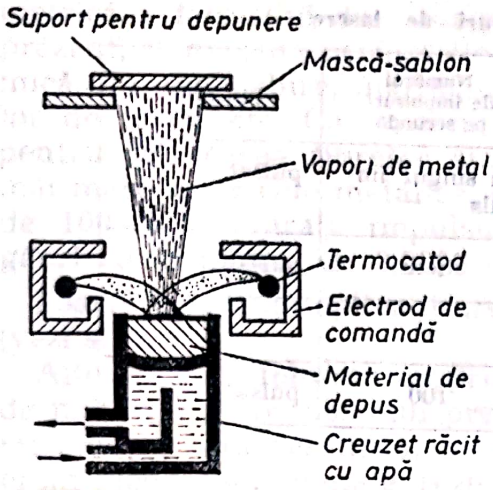


Fig. 9.29. Schema de principiu a depunerii de acoperire cu fascicul de electroni.

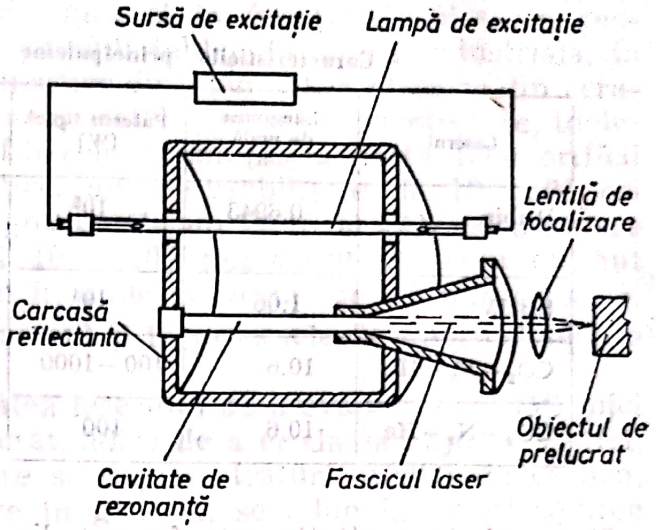


Fig. 9.30. Schema de principiu a unui laser cu mediu activ solid.

Mai des folosit în aplicații este laserul cu amestec de gaze CO_2—N_2—He. Dacă printr-un tub, conținînd un asemenea amestec de gaze se trimite un fascicul de radiații cu lungimea de undă de 10,6 micrometri, la ieșirea din tub (fig. 9.31) radiația este reflectată de oglinda *2* a rezonatorului, din nou amplificată la trecerea prin tub, reflectată de oglinda *1* înapoi în tub și așa mai departe. Fenomenul decurge astfel, pînă cînd factorul de amplificare al mediului scade la o valoare egală cu cea a pierderilor sistemului (pierderi prin absorbție, împrăștiere, difracție și cuplare cu exteriorul) și se obține astfel o valoare staționară a intensității cîmpului de radiație.

Ieșirea radiației în afara rezonatorului se obține făcînd una din oglinzi semitransparentă sau cu o gaură centrală.

În tabelul 9.7 sînt prezentate cîteva tipuri de lasere folosite la prelucrarea materialelor.

Laserele cu mediu activ solid, în comparație cu laserul cu CO_2—N_2—He, prezintă ca avantaje: dimensiuni mai mici și lungime de undă a radiației mai mică. Radiațiile cu lungimi de undă mai mici sînt mai bine absorbite de mediu și se pot focaliza în spații cu dimensiuni mai mici decît radiațiile cu lungime de undă mai mare.

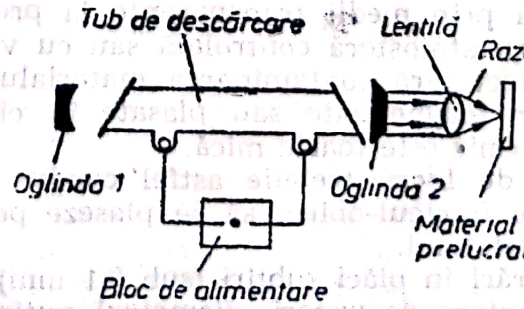


Fig. 9.31. Schema de principiu a unui laser cu CO_2.

Tabelul 9.7

Caracteristicile principalelor tipuri de lasere

Laserul	Lungimea de undă [μm]	Puterea tipică [W]	Numărul de impulsuri pe secundă	Observații
Rubin	0,6943	10^5	un singur impuls	pulsat
Sticlă	1,06	10^5	idem	pulsat
CO_2—N_2—He	10,6	100—1000	—	—
CO_2—N_2—He	10,6	100	100	pulsat

Sistemul de excitație este format din sursa de alimentare cu energie electrică și sursa de excitație. Sistemele de alimentare pot fi de mai multe tipuri și anume:

— cu acumulare de energie în condensatori de capacitate mare (1000 μF) la tensiuni înalte (de ordinul a 10 kV);

— cu redresori pentru intensități mari de curent (puteri de zeci de kW), pentru laseri solizi;

— cu generatoare de înaltă tensiune, continuă sau alternativă, de înaltă frecvență (20 . . . 30 MHz), pentru laseri cu gaze.

Din sursele de excitație optică cele mai răspîndite sînt lămpile cu descărcări în gaze. Acestea se caracterizează printr-un randament foarte scăzut: din toată energia dezvoltată este absorbită de-abia 0,01 . . . 2%, restul consumîndu-se pentru încălzirea puternică a mediului activ.

Sistemul optic de focalizare al instalațiilor se bazează pe proprietățile de reflecție și refracție ale fasciculului laser. Aparatura necesară (lentile, prisme, oglinzi sferice) se alege în funcție de lungimea de undă a fasciculului, astfel încît pierderile în sistemul de focalizare să fie minime.

Sistemul de răcire poate fi cu circuite de gaze lichefiate. La instalații pentru prelucrări tehnologice se preferă cele răcite cu apă, care funcționează la temperatura mediului ambiant.

Prelucrarea cu fascicul de fotoni este economică la executarea orificiilor și canalelor cu diametre, respectiv lățimi de la 0,5 mm, pînă la 0,1 . . . 0,5 micrometri, cînd alte metode nu se pot aplica sau sînt mai costisitoare.

Domeniile de aplicație sînt condiționate de particularitățile laserului; temperatură mare în fasciculul focalizat, pînă la 18.000°C; posibilitatea prelucrării la distanță și dirijării fasciculului cu aparatură optică simplă; pătrunderea prin medii transparente la prelucrarea unor piese situate în incinte cu atmosferă controlată sau cu vid; interacțiunea dintre fascicul și obiect fără contaminarea materialului; posibilitatea prelucrării materialelor magnetizate sau plasate în cîmpuri magnetice; zona influențată termic este foarte mică.

Regimul de lucru trebuie astfel condus încît temperatura zonei de interacțiune fascicul-obiect să se plaseze peste temperatura de vaporizare a materialului.

La perforări în plăci subțiri (sub 0,1 mm) are loc îndepărtarea materialului în stare de vapori, diametrul putînd fi considerat constant pe

Scanned with OKEN Scanner

toată adîncimea și egal cu diametrul petei de focalizare. La plăci mai groase, diametrul variază cu adîncimea și în funcție de plasarea geometrică a focarului de-a lungul grosimii tablei. Pe scară industrială, în prezent, se execută perforările filierelor din diamant, a pieselor din ceramică din aliaje dure, diafragmelor aparatelor optice și electronice, inelelor de ferită etc. Ca exemplu, filierele ceramice cu peste 1500 orificii pentru fabricarea fibrelor sintetice, au o durabilitate de 10...20 ori mai mare decît cele metalice, obișnuite. Cu un laser de CO_2, cu o putere de 100 W și durata impulsului 10...100 microsecunde, s-au obținut găuri cu diametrul de 0,0075 mm în table de argint de 1,5 mm grosime.

Foarte frecvente aplicații are laserul și în procesele de tăiere și sudare (vezi și cap. 7).

Alte aplicații folosesc proprietatea laserului de a evapora cantități mici de material de pe obiectul prelucrat, adică de a eroda sau ajusta. Astfel, rezistențele din ceramică, pe care se depun straturi subțiri de carbon, crom-nichel, sau metale rezistive în general, se aduc la valori optime prin evaporarea parțială a depunerii. Prelucrarea feritelor, a ceramicii, a monocristalelor de cuarț, safir etc., se face tot cu ajutorul energiei unui laser dirijat.

Pulverizarea unor oxizi refractari din alumină, oxid de toriu, oxid de crom, titan etc., se realizează de asemenea cu ajutorul laserului, radiația fiind focalizată pe vergeaua de oxid, care se rotește în jurul axei sale cu o turație foarte mare. Se produce astfel topirea și expulzarea zonei topite din material, datorită forței centrifuge, sub formă de micropicături.

Alte aplicații se referă la creșterea monocristatelor din $CaZrO_3$, $MgAl_2O_3$, sau depunerea în vid a dielectricilor sau a altor substanțe ca: SiO_2, Al_2MgO_4, Ni, Fe, Ge etc.

Scanned with OKEN Scanner

10

COROZIUNEA. PROTECȚIA ANTICOROSIVĂ A MATERIALELOR METALICE

10.1. COROZIUNEA CA PROCES CHIMIC ȘI ELECTROCHIMIC AL METALELOR ȘI ALIAJELOR

Prin coroziune se înțelege fenomenul complex de distrugere a materialelor, datorită reacțiilor chimice sau electrochimice cu diferite substanțe prezente în mediul înconjurător. Atacul chimic direct este posibil la toate materiile prime și materialele folosite în industrie, în timp ce atacul electrochimic nu apare decît la metale, deoarece numai ele posedă electroni liberi. Materialele sintetice nu posedă această structură, ele fiind, de obicei, supuse degradării numai prin atac chimic. Sub acest aspect se definește: *coroziunea chimică,* unde în timpul reacției dintre un material și mediul corosiv înconjurător nu apare un transport de sarcini electrice; *coroziunea electrochimică,* unde în timpul reacției cu mediul corosiv apare un transport de sarcini electrice.

Ca efect al coroziunii se pierd permanent din economia mondială cantități importante de materiale. De exemplu, din producția mondială de oțel din ultimii 50 de ani, de aproximativ douăzeci miliarde de tone, se apreciază că circa 44% s-a pierdut datorită coroziunii. Aceasta justifică pe deplin necesitatea luării de măsuri de protecție a metalelor împotriva agenților corosivi și de aprofundare a studierii fenomenelor coroziunii.

Coroziunea chimică se poate produce din cauza afinității dintre metale și unele gaze uscate (O_2, SO_2, H_2S, HCl gazos, CO, CO_2, H_2), sau lichide rău conducătoare de electricitate (alcooli, benzină, benzen etc.), provocînd modificări ale metalului manifestate prin: dizolvarea părților componente și pierderi de material; spălarea componenților; dezagregarea materialului de către cristalele sărurilor care se formează în porii săi; mărirea sau reducerea particulelor, deci și a întregii mase a metalului.

Intensitatea procesului de coroziune este condiționată de: natura materialului, natura mediului corosiv, concentrația, temperatura și presiunea mediului corosiv și durata de contact.

Dintre factorii externi, acțiunea cea mai dăunătoare asupra metalelor o are *oxigenul.* Suprafața curată a multor metale expusă la aer, se oxi-

Scanned with OKEN Scanner

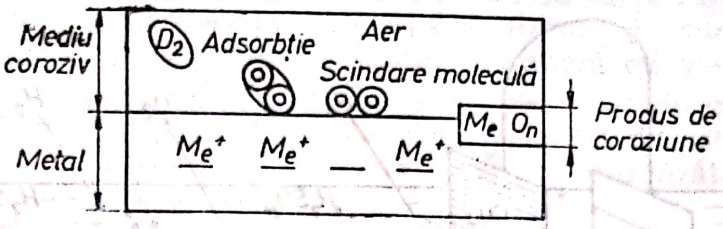


Fig. 10.1. Schema procesului de oxidare a metalelor.

dează rapid, dacă reacția respectivă de oxidare (10.1) are loc cu scăderea energiei libere:

$$m\text{Me} + n\text{O} \rightarrow \text{Me}_m\text{O}_n \qquad (10.1)$$

Schema procesului de oxidare este prezentată în figura 10.1, unde se observă că metalul absoarbe din aer molecula de oxigen, pe care o scindează în atomi. Prin unirea atomilor de oxigen cu atomii metalului respectiv se formează primul strat monomolecular de oxid. Dacă *pelicula de oxid* formată prezintă proprietăți protectoare, viteza inițială ridicată de oxidare scade rapid în timp. Urmele de hidrogen sulfurat, prezente în atmosferă la temperatura camerei, catalizează coroziunea.

Capacitatea de protecție a peliculelor de oxid formate depinde de *permeabilitatea* lor pentru substanțele cu care reacționează. Relația:

$$K = \frac{V_{oxid}}{V_{metal}} = \frac{M}{\rho_{oxid}} : \frac{n \cdot A}{\rho_{metal}} \qquad (10.2)$$

exprimă permeabilitatea (porozitatea) peliculelor de oxid, în care: K este coeficientul de volum al oxidului; V_{oxid}, V_{metal} — volumele de oxid și metal din reacție; M și ρ_{oxid} — masa moleculară și densitatea oxidului; A și ρ_{metal} — masa atomică și densitatea metalului; n — numărul atomilor de metal din molecula de oxid.

În funcție de valoarea lui K se deosebesc trei categorii de pelicule de oxizi: pentru $K < 1$, pelicula de oxizi este poroasă și neprotectoare, viteza de corodare este constantă; pentru $1 < K < 1{,}5$, pelicula de oxizi este compactă, avînd o porozitate redusă, cu proprietăți bune protectoare; pentru $K > 1{,}5$, pelicula de oxid este compactă, dar se produc tensiuni interne puternice care provoacă *exfolierea stratului de oxid* format, astfel procesul de oxidare al metalului continuă, însă cu un oarecare grad de atenuare.

În cazul coroziunii chimice, proporțional cu creșterea temperaturii, crește și viteza de coroziune. Astfel la prelucrarea la cald a oțelului, de exemplu prin laminare, unde temperaturile sînt între 900 . . . 1300°C, grosimea peliculei de oxid poate ajunge la 1 . . . 2 mm, ceea ce determină pierderi considerabile de metal la fiecare încălzire. De la 600°C, pe suprafața oțelului apare un complex de oxizi (numit și *țunder*) care cuprinde (cu începere de la suprafață) oxizii FeO, Fe_3O_4 și Fe_2O_3 în straturi de diferite grosimi. Aceste straturi sînt însă poroase, permit oxidarea în continuare a metalului și se exfoliază.

Coroziunea electrochimică. Pentru apariția coroziunii electrochimice este necesar să existe un anod, un catod, un electrolit și un conductor (fig. 10.2, *a*), deci un element galvenic. Prin înlăturarea uneia dintre aceste condiții, coroziunea electrochimică nu se produce. După cum în

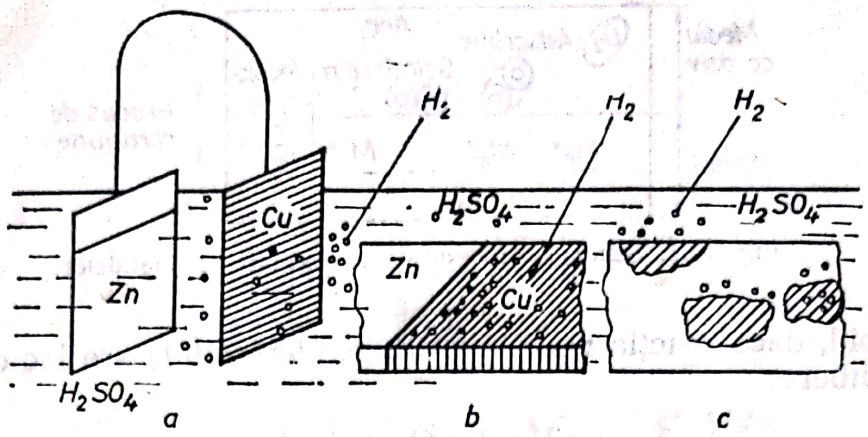


Fig. 10.2. Modelul de transformare a unui element galvanic obișnuit într-un microelement.

practica industrială metalele și aliajele, folosite în mod curent, sînt eterogene, se pot considera ca fiind alcătuite din electrozi electrici scurt-circuitați prin însuși corpul metalului respectiv. Prin introducerea metalului în apă sau într-un mediu cu proprietăți electrolitice, pe suprafața metalului apar elemente galvanice (fig. 10.2, *b, c*), în care impuritățile din metal funcționează ca microcatozi, cu descărcare de hidrogen pe suprafața lor, în timp ce metalul, funcționînd ca anod, se dizolvă.

Exemple tipice de coroziune electrochimică se întîlnesc în cazul obiectelor din oțel expuse coroziunii atmosferice (ruginirea fierului), precum și a coroziunii provocate de curenții electrici de dispersie din sol, numiți și curenți vagabonzi (șine de tramvai sau cale ferată electrificată).

Practic, în cazul coroziunii, este importantă cunoașterea vitezei de coroziune. Dacă viteza de coroziune este foarte mică, chiar dacă se produce totuși coroziunea, se poate considera materialul corespunzător, adică rezistent la coroziune. *Viteza de coroziune* se exprimă prin masa de metal distrus pe unitatea de suprafață în unitate de timp (g/m^2h) sau pe adîncimea la care au ajuns degradările în unitatea de tip (mm/an).

Cunoașterea acestor indici permite: alegerea corespunzătoare a materialului în funcție de natura mediului și dimensionarea instalațiilor în funcție de durata exploatării.

10.2. METODE DE PROTECȚIE ANTICOROSIVĂ A METALELOR

Metodele și mijloacele de protecție anticorosivă sînt variate; principial ele se pot grupa în următoarele categorii: metode de prevenire a coroziunii; utilizarea metalelor și aliajelor rezistente la coroziune; metode de acționare asupra mediului corosiv; metode de acoperire a suprafețelor metalice.

10.2.1. Metode de prevenire a coroziunii

Coroziunea poate fi prevenită prin:

— alegerea corectă a materialelor utilizate în construcția de aparate și utilaje industriale, din punctul de vedere al rezistențelor la coroziune;

— evitarea punerii în contact a unui metal cu un alt metal mai electronegativ decît el, de exemplu aluminiul alături de cupru și aliajele cuprului sau de oțelurile aliate, bronzul în contact cu oțelul etc.;

— se va evita punerea în contact a metalelor ecruisate cu metalele recoapte sau turnate, deoarece, din cauza diferenței de potențial electrochimic dintre ele, în prezența unui electrolit corespunzător, primele se corodează;

— prelucrarea mai îngrijită a suprafeței metalului, deoarece adînciturile și zgîrieturile favorizează și accelerează coroziunea.

10.2.2. Utilizarea metalelor și aliajelor rezistente la coroziune

Întrucît metalele nobile și aliajele lor, rezistente la coroziune, sînt rare și au un cost ridicat, în practică se utilizează *metale și aliaje autoprotectoare* care, în urma coroziunii inițiale, se acoperă cu o *peliculă pasivizată* sau, în majoritatea cazurilor, se utilizează oțelurile anticorosive, aliate cu Cr, Cu, Ni etc.

10.2.3. Modificarea condițiilor exterioare de lucru a pieselor

Sînt multe cazuri în care se poate acționa asupra mediului corosiv pentru scăderea evidentă a vitezei de coroziune. Există mai multe posibilități, dintre care se amintesc:

— modificarea *p*H-ului, ceea ce înseamnă reglarea lui la o valoare convenabilă pentru metalul care trebuie protejat. Aceasta înseamnă eliminarea componentelor periculoase din mediul de coroziune prin metode fizice, chimice sau mecanice;

— îndepărtarea gazelor (O_2 și CO_2) care măresc viteza de coroziune a mediilor corosive, mai ales a apei;

— utilizarea *inhibitorilor* sau a *pasivatorilor*, ce sînt substanțe organice sau anorganice care, introduse în mediul corosiv, în cantități minime, micșorează sau reduc la zero viteza de coroziune a acesteia;

— protecția catodică (electroapărarea) constă în aplicarea unor metode galvanice de protecție a metalelor, folosind anozi metalici auxiliari, care se corodează în locul metalului protejat.

10.2.4. Acoperiri de protecție cu materiale metalice și nemetalice

Protecția prin învelișuri anticorosive se realizează prin acoperirea metalului cu un strat subțire de material protector. Stratul protector trebuie să îndeplinească următoarele condiții: să fie compact și aderent, să fie suficient de elastic și plastic, iar grosimea lui să fie cît mai uniformă. *Stratul protector* poate fi *metalic* sau *nemetalic;* cele metalice, depuse pe suprafața metalului protejat, se pot realiza pe cale galvanică sau pe cale termică, care poate fi prin cufundare în metal topit, prin pulverizare, prin difuziune etc., și prin placare.

Scanned with OKEN Scanner

Aceste acoperiri, în afara celor obținute prin placare, prezintă, de obicei, o oarecare porozitate, ceea ce determină în timp apariția elementelor locale de coroziune, cu toate consecințele lor.

Straturile protectoare nemetalice pot fi organice sau anorganice, realizate prin utilizarea lacurilor, vopselelor, emailurilor sau a foliilor de masă plastică etc.

Aceste depuneri se execută în două scopuri:

a — pentru asigurarea unei protejări anticorosive, fără a fi o problemă primordială aspectul (repere de interior);

b — pentru asigurarea unei protejări anticorosive, însă, în final, reperul trebuie să asigure și un aspect plăcut, stratul protector avînd în același timp și un rol decorativ în exploatare (rame, ornamente etc.).

Din prima grupă de acoperiri fac parte, în general, depunerile într-un singur strat: zincarea, cuprarea, cadmierea pe repere din oțel; nichelarea pe repere din alamă; eloxarea reperelor din aluminiu.

Pentru depuneri cu scop decorativ se depun straturi succesive (placări) din mai multe metale, combinînd în așa fel ca grosimea cea mai mare să se asigure prin depunerea metalului mai electronegativ și mai ieftin. Astfel de structuri decorative sînt depunerile lucioase de: Cu+Ni sau Cu+Ni+Cr.

Procedeele de protejare metalică sînt, în general, costisitoare, realizarea lor necesitînd materiale și utilaje speciale. Au avantajul că sînt mai rezistente, nu diminuează calitatea metalului din punct de vedere al conductivității, nu modifică dimensional reperul, depunerile nedepășind, în general, 40 . . . 45 μm.

Depunerile nemetalice sau acoperirile cu *materiale peliculogene* se realizează în scopul protejării reperelor împotriva coroziunii. Rezistența anticorosivă crește odată cu creșterea grosimii de strat depus. Această grosime însă este condiționată de o anumită structură: lipsa de porozitate, uniformitate, aderență. Pentru a asigura acestea este necesară:

— pregătirea corespunzătoare a suprafeței prin eliminarea urmelor de oxizi (decapări, sablări);

— realizarea unei rugozități și porozități a suprafeței de acoperit, pentru a asigura aderența primului strat (fosfatare sau acoperire cu grund reactiv);

— depunerea stratului de grund (material peliculogen cu conținut mărit de pigment și mai puțin lac) prin procedeul clasic cu pistolul sau prin electroforeză;

— vopsirea cu unul sau mai multe straturi de email (material peliculogen cu conținut mai mic de pigment și mai mare de lac) care asigură un aspect plăcut, lucios. Interesul este ca aceste materiale succesive să fie compatibile, adică să asigure aderența unui strat pe celălalt, pe de altă parte, emailul final să fie de nuanță apropiată cu grundul, pentru a permite acoperirea într-un singur strat (conținutul de pigment, ce dă culoarea, aici este relativ mic).

Aceste depuneri se realizează prin pulverizare simplă sau în cîmp electrostatic, automatizat sau prin pulverizare manuală, cu ajutorul pistolului de stropit, procedeul al doilea fiind mai puțin productiv, dar se poate aplica ușor pe repere de o diversitate mare, atît ca formă și culoare, cît și ca număr de straturi.

Scanned with OKEN Scanner

10.2.5. Utilaje, procedee şi materiale pentru acoperiri metalice

Acoperiri galvanice. În funcţie de succesiunea operaţiilor, în tehnologiile de protejare pe categorii de depuneri galvanice, se folosesc operaţiile, utilajele şi materialele prezentate în tabelul 10.1.

Reperele uscate prima dată se sortează: trebuie să corespundă aspectul, să fie semilucioase, depunerile să fie uniforme, fără băşici şi cu grosimea de strat corespunzătoare condiţiilor de exploatare.

Tabelul 10.1

Operaţiile, utilajele şi materialele folosite la acoperirile metalice galvanice

Procedeul de acoperire finală şi scopul acoperirii	Fazele procesului tehnologic	Utilajul folosit	Materialul folosit
0	1	2	3
Zincare sau cadmiere.	1. Degresare în solvent organic.	Automat de degresare în două faze, cu recuperarea solventului prin distilare.	Tricloretilenă.
	2. Decapare pentru îndepărtarea oxizilor metalici.	Cuve din oţel, căptuşite antiacid.	Acid sulfuric + acid clorhidric.
Se aplică pe repere din oţel.	3. Degresare electrolitică cu curent continuu.	Cuve din oţel, anozi din Ni (reperul de degresat este catod).	Soluţie alcalino-cianurică.
	4. Zincare cianurică electrolitică sau cadmiere.	Cuve din oţel, anozi din Zn, sau Cd, în funcţie de depunere, respectiv electrolit (reperele la catod).	Soluţie cianurică de Zn sau soluţie cianurică de Cd.
	5. Pasivizare, pentru a realiza prin stratul superficial de cromat de Zn sau Cd, o bună rez. anticorosivă; se cere o minuţioasă spălare-activare şi neutralizare.	Cuve din oţel căptuşite antiacid; procedeul este chimic, prin imersiune.	Soluţie de acid cromic, azotic şi sulfuric.
Cromare lucioasă, decorativă pentru protecţie şi aspect, destinat reperelor ornamentale.	1. Polizare, periere.	Polizare cu discuri sau perii.	Praf abraziv, care se fixează pe disc cu liant special.
	2. Degresare în solvent organic + chimic şi electrochimic.	Instalaţie de degresare (reperele sînt expuse fie la anod fie la catod).	Tricloretilenă sau detergenţi speciali.
Pentru repere din oţel.	3. Nichelare mată (grund)	Automat + cuvă + + contacte, anozi din Ni (piesele la catod).	Soluţie de nichelare (mediu acid).
	4. Cuprare lucioasă acidă.	Cuvă + anozi din Cu (reperele la catod).	Soluţie de sulfat de Cu, acid sulfuric, agent de luciu.
	5. Nichelare lucioasă.	Idem, anozi din Ni.	Soluţie de nichelare + agenţi de luciu (mediu acid).

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 10.1 (*continuare*)

0	1	2	3
	6. Cromare lucioasă.	Idem, anozi din Pb (catozii sînt reperele de acoperit).	Soluție de acid cromic.
Eloxare. Numai pentru repere din aluminiu, acoperire anticorosivă și de aspect	— Polizare—periere.	Polizare cu discuri sau perii.	Praf abraziv, care se fixează pe disc cu liant special.
	— Degresare cu solvent organic.	Instalație de degresare.	Percloretilenă (triclorul se descompune).
	— Degresare chimică	Cuvă de oțel; procedeu chimic.	Soluție de sodă caustică.
	— lustruire	cuvă inox; prin imersie; procedeu electrochimic	Soluție de acid fosforic, azotic și cromic. la cald
	— eloxare (oxidare anodică)	cuvă antiacidă (anod-reperul; catod-plăci de plumb)	Soluție de acid sulfuric.

OBSERVAȚII:

Reperele uscate se sortează: trebuie să corespundă ca aspect, să fie semilucioase, depunerile să fie uniforme, fără bășici și cu grosimea de strat corespunzătoare condițiilor de exploatare.

Aluminizarea: protejarea și asigurarea suprafeței reflectorizante de la oglinzile farurilor și lămpilor pentru autovehicule. Succesiunea operațiilor la aluminizare:

1 — suprafața reflectorizantă se prelucrează mecanic prin polizare, periere;

2 — degresare în soluție alcalină la cald;

3 — fosfatare amorfă pentru a asigura aderența lacului;

4 — lăcuire prin imersie (cu lac special) cu aspect lucios și lipsit de impurități după uscare ($t = 180 \ldots 200°C$);

5 — metalizarea se execută într-un spațiu închis ermetic, în care se creează vid înaintat de ordinul 10^{-5} torr, spațiul în care sînt fixate reperele lăcuite; cu ajutorul unui filament metalic, alimentat cu curent, se aduc granulele de aluminiu în stare incandescentă; aluminiul se evaporă și se depune pe reflector.

Metalizarea. Scopul metalizării nu este numai de protecție anticorosivă, ci și de modificare a aspectului și a proprietăților stratului de suprafață (duritate, rezistență la uzare, durabilitate etc.). Dintre procedeele de metalizare, cel mai frecvent se aplică metalizarea prin pulverizare și prin placare.

Metalizarea prin pulverizare se efectuează proiectînd metale sau aliaje topite, ori pulverizate din stare topită, pe suprafețe metalice sau nemetalice, cu ajutorul unui pistol de metalizat. Prin solidificare, particulele proiectate pe suprafețele de metalizat se sudează între ele, formînd o peliculă aderentă, datorită, în special, tensiunii superficiale dintre cele două suprafețe de contact (suprafața de metalizat și pelicula metalică). Aparatul de metalizat trebuie să realizeze: topirea metalului de aport, pulverizarea metalului topit și antrenarea particulelor formate către suprafața de metalizat.

Topirea materialului metalic ce se va pulveriza se realizează fie din pulbere metalică, fie din sîrmă. Utilizarea pulberii sau sîrmei metalice

Scanned with OKEN Scanner

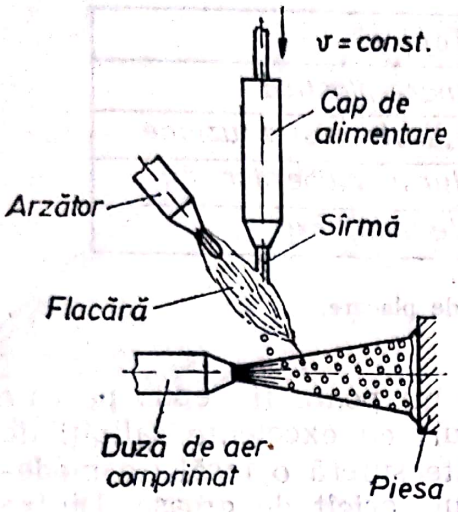


Fig. 10.3. Principiul metalizării cu topirea metalului cu flacără de gaze.

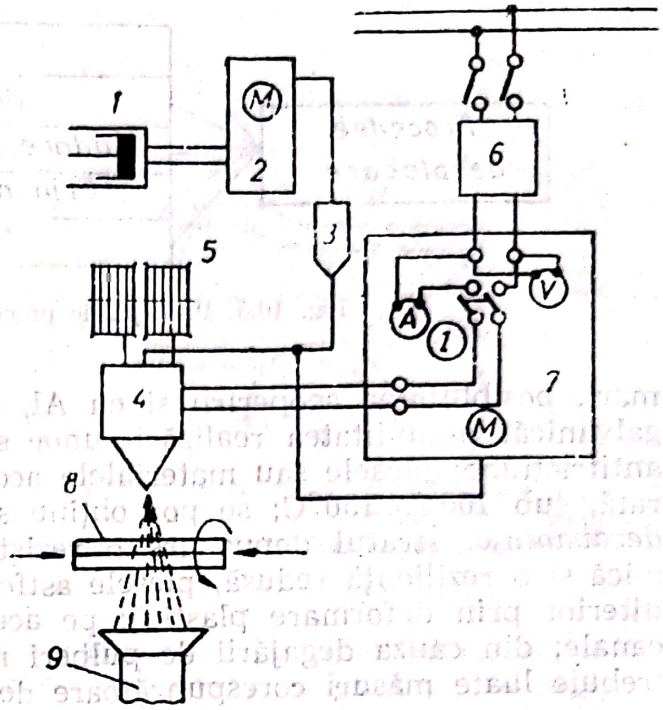


Fig. 10.4. Schema unei instalații de electrometalizare, cu sîrmă.

este condiționată de caracteristicile metalurgice ale acestora și proprietățile tehnologice impuse peliculei ce se va forma.

Căldura necesară topirii materialului metalic, ce se va pulveriza, poate fi produsă prin intermediul unei flăcări cu gaz (oxiacetilenică sau cu alte gaze), prin intermediul energiei electrice (arc electric, rezistență, curenți turbionari), sau prin jet de plasmă. Pulverizarea și antrenarea particulelor pulverizate spre suprafața de metalizat se face obișnuit cu ajutorul unui curent de aer sub presiune (fig. 10.3). În cazuri speciale, în loc de aer se poate utiliza și alt gaz (N, Ar, He etc.).

În figura 10.4 se prezintă schema unei instalații de metalizat cu sîrmă ce utilizează ca sursă termică arcul electric. Aerul comprimat din compresorul *1* este introdus într-un rezervor tampon *2*, din care trece printr-un filtru *3* și ajunge în aparatul de metalizat *4*. Pe suportul aparatului *4* sînt fixate bobinele de sîrmă *5*, de pe care cele două sîrme intră în aparat prin niște ghidaje. Cele două sîrme se conectează la bornele unui generator sau transformator de sudură *6*. Tabloul de comandă *7* este prevăzut cu întrerupător bipolar *I*, ampermetrul *A*, voltmetrul *V* și un manometru *M*. Între capetele celor două sîrme, conectate la sursa de energie electrică, ia naștere un arc electric, materialul sîrmelor se topește și curentul de aer comprimat pulverizează metalul topit. Jetul de metal pulverizat este dirijat spre piesa de metalizat *8*. Surplusul de particule metalice este captat de exhaustorul *9*. Presiunea de regim a aerului comprimat este de 55 . . . 60 N/cm², diametrul ajutajului de aer 6 mm, viteza de înaintare a sîrmelor 3 m/min, diametrul sîrmelor 1,2 . . . 1,5 mm.

Suprafețele suport pot avea cele mai diferite forme. Înainte de metalizare, acestea sînt supuse sablării. Metalizarea trebuie efectuată imediat după pregătirea suprafețelor, pentru a evita oxidarea. Instalațiile automate realizează acest ciclu sablare-metalizare programat electronic.

Dintre *avantajele* metalizării prin pulverizare se amintesc: o productivitate deosebit de mare; posibilitatea acoperirii suprafețelor oricît de

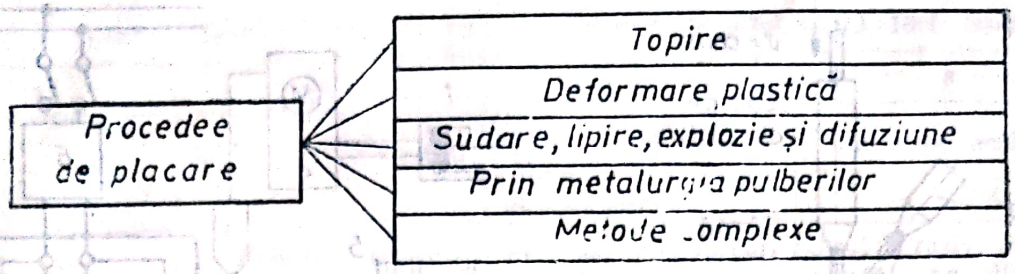


Fig. 10.5. Principalele procedee de placare.

mari; posibilitatea acoperirii și cu Al, care nu poate fi depus pe cale galvanică; posibilitatea realizării unor straturi cu excelente calități de antifricțiune; piesele sau materialele acoperite suferă o încălzire moderată, sub 100 . . . 150°C; se pot obține straturi oricît de groase. Dintre *dezavantaje:* stratul depus are o rezistență la tracțiune și încovoiere mică și o rezilință redusă; piesele astfel acoperite nu pot fi prelucrate ulterior prin deformare plastică; pe aceste zone nu se pot tăia filete, canale; din cauza degajării de pulberi metalice fine și de gaze nocive, trebuie luate măsuri corespunzătoare de tehnica securității muncii.

Alte domenii importante *de aplicare* a metalizării prin pulverizare: recondiționarea organelor de mașini, care au ajuns la limita de uzură după diverse reparații succesive (arbori cotiți, axe cu came, fuzete, osii de vagoane, diverse piese de mașini agricole etc.); remedierea defectelor exterioare ale unor piese turnate sau cu o eroare de prelucrare prin așchiere; realizare de straturi refractare, rezistente pînă la 1500°C din oxizi, carburi metalice, pulberi ceramice, aplicate în motoarele cu reacție, rachete, nave cosmice; metalizarea unor materiale nemetalice (lemn, sticlă, hîrtie etc.) aplicată și în industria electrotehnică (condensatoare, rezistențe); fabricarea unor pulberi metalice speciale; alte aplicații în industria poligrafică, medicină, industria bijuteriilor și a obiectelor de artă și altele.

Metalizarea prin placare este procedeul de îmbinare nedemontabilă a două sau mai multe materiale metalice în formă de straturi, prin intermediul forțelor de coeziune și tensiune superficială. Pocedeele de placare sînt prezentate în figura 10.5.

Produsele placate se deosebesc de cele metalizate prin pulverizare sau alte procedee, prin grosimea mai mare a stratului placat pe materialul de bază. Dacă la metalizarea prin pulverizare, sau alte procedee, grosimea peliculei realizată este de ordinul micrometrilor sau al sutimilor de mm, la placare grosimea peliculei este de ordinul zecimilor de mm sau de μm. Straturile metalizate nu depășesc, obișnuit, 2 . . . 3% din grosimea totală a obiectului rezultat (maximum 5%), pe cînd cele placate ajung peste 8 . . . 10%, uneori 20% și în cazuri speciale chiar 50%.

Placarea prin turnare se realizează turnînd metalul de placare pe suprafața pregătită pentru placat. Piesa de placat se preîncălzește (la oțel 830 . . . 1030°C). Prin solidificarea metalului de placare pe suprafața de placat se realizează o aderență suficientă obținerii unei piese stratificate unitare. Aderența se realizează, în special, prin difuziune (fig. 10.6).

Placarea prin deformare plastică se realizează prin presarea suprafețelor de placat în așa fel, încît între acestea să apară forțele de aderență necesare unei piese monolit. În timpul presării se produce și o defor-

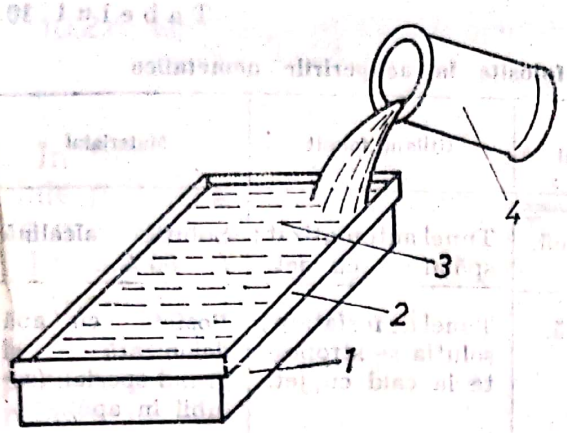


Fig. 10.6. Schema placării prin turnare: *1* — piesa de placat; *2* — ramă de închidere; *3* — metal topit de placare; *4* — creuzet de turnare.

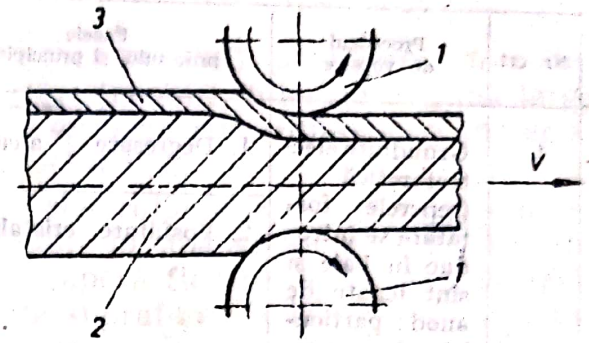


Fig. 10.7. Schema de laminare a lingoului compus: *1* — cilindrii laminorului; *2* — metal de bază; *3* — strat depus (placat).

mare plastică a părților componente. Placarea prin deformare plastică se face obișnuit la cald, ea putîndu-se realiza însă, în anumite condiții, și la rece. Deformarea plastică, necesară placării, se poate realiza prin laminare, extrudare, tragere, matrițare etc.

Placarea prin laminare se face la temperatura corespunzătoare deformării plastice a lingoului compus sau a componentelor simple, așezate într-un pachet compus. Acestea se laminează la cald la dimensiunile prescrise (fig. 10.7).

Placarea prin sudare se aplică produselor bimetalice de dimensiuni mari (lingouri, plăci, cazane etc.). Metalul de placat se poate depune, fie prin topirea unuia sau mai multor electrozi de sîrmă sau de bandă cu ajutorul arcului electric sub strat de flux, fie sudînd două plăci între ele, sudarea avînd loc în baie de zgură.

Placarea prin procedeele metalurgiei pulberilor constă în depunerea unor straturi de pulberi metalice (fig. 10.8) care, după sinterizare, aderă fie pe o placă metalică obținută prin laminare, fie pe una realizată tot prin presare și sinterizare.

Se pot astfel depune una, două sau mai multe folii sau plăci, fiecare realizată prin sinterizarea de pulberi metalice.

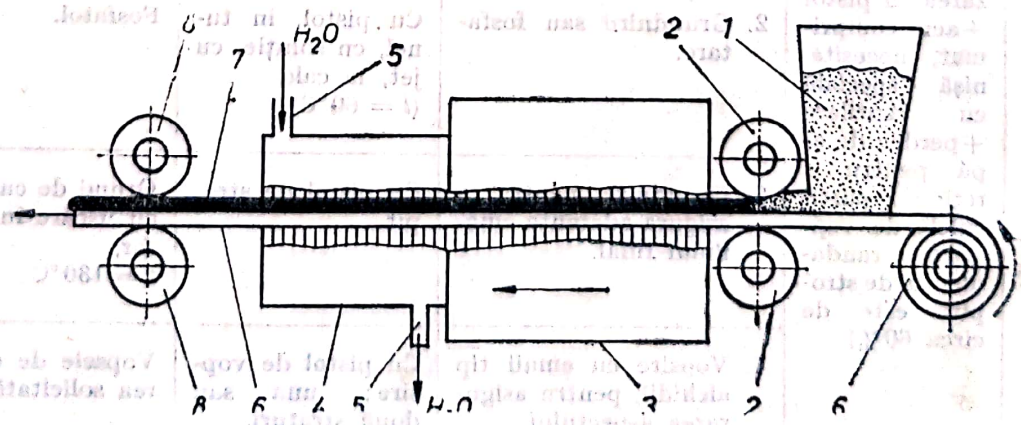


Fig. 10.8. Schema placării pe bandă a unui strat din pulberi metalice: *1* — buncăr cu pulberea metalului de placare; *2* — cilindrii laminorului de pulberi; *3* — cuptor de sinterizare; *4* — cameră de răcire; *5* — conducte pentru apa de răcire; *6* — bandă metalică de bază; *7* — stratul placat; *8* — cilindrii laminorului de compactizare-calibrare.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 10.2

Operațiile, utilajele și materialele folosite la acoperirile nemetalice

Nr. crt.	Procedeul de vopsire	Fazele procesului și principiului	Utilajul folosit	Materialul
1	Grunduire electroforetică (reperele fosfatate se introduc în baie și sînt legate de anod; particulele de vopsele, polarizate cu ajutorul curentului electric de la catod, migrează la anod, unde se depun și formează un strat compact aderent).	1. Degresare alcalină.	Tunel automatizat; spălare cu jet.	Soluție alcalină $t = 80$ °C.
		2. Fosfatare cristalină.	Tunel de fosfatare; soluția se stropește la cald cu jet.	Fosfat cu apă deionizată și grund special, (solubil în apă).
		3. Spălare cu apă deionizată.	Tunel de spălare.	
		4. Grunduire electroforetică.	Tunel de grunduire.	
		5. Uscare $t = 180$ °C	Cuptor sau tunel de uscare.	—
2	Vopsirea electrostatică (se aplică peste stratul de grund depus electroforetic).	Stropire în cîmp electrostatic (piesa metalică se leagă la „pămînt", iar emailul special, polarizat cu ajutorul cîmpului electrostatic de 10 kV, se dirijează pe suprafețele de vopsit).	Cabină specială de vopsire automată, cu roboți pulverizatori, legați la înaltă tensiune.	Email electrostatic.
3	Vopsire cu aer comprimat cu ajutorul pistolului de pulverizare (pulverizarea cu pistol + aer comprimat, necesită nișă specială cu ventilare + perdea de apă pentru a reține particulele de vopsea; randamentul de stropire este de circa 60%)	1. Degresare alcalină sau solvenți organici, în funcție de gabarit și lotul de repere.	Tunelul de stropire; instalație automată de degresare.	Soluție alcalină, triclor-etilenă, grund reactiv.
		2. Grunduire sau fosfatare.	Cu pistol, în tunel, cu soluție, cu jet, la cald ($t = 60$ °C)	Fosfatol.
		3. Grunduire pentru a asigura aderența emailului final.	Cu pistol de stropit.	Grund de culoare, cu uscare în cuptor, $t = 130$ °C
		4. Vopsire cu email tip alchidil, pentru asigurarea aspectului.	Cu pistol de vopsire; una sau două straturi.	Vopsele de culoarea solicitată.
		5. Uscare.	În cuptor cu raze infraroșii cu becuri luminoase sau becuri ceramice.	Alimentat cu curent electric 220V + ventilație puternică.

Scanned with OKEN Scanner

10.2.6. Utilaje și materiale folosite pentru acoperiri nemetalice (vopsiri)

În funcție de destinația produsului (a reperului), protejarea cu materiale peliculogene se execută cu diferite structuri, folosind o gamă largă de materiale de acoperire. Procedeele de acoperire, utilajele și materialele folosite uzual sînt prezentate în tabelul 10.2.

Avantajul procedeului de grunduire electroforetică constă în faptul ca: se utilizează un grund care este solubil în apă și nu este inflamabil; particulele pătrund și în cavități; se acoperă fiecare porțiune a pieselor relativ uniform; se poate aplica și pe suprafețe umede; prezintă o rezistență anticorosivă bună și se aplică într-un singur strat.

Scanned with OKEN Scanner

11

REGLEMENTĂRI PRIVIND PROTECȚIA MUNCII PENTRU ACTIVITĂȚI TEHNOLOGICE

11.1. INTRODUCERE

Ansamblul de măsuri privind asigurarea condițiilor optime de muncă, prevenirea accidentelor și îmbolnăvirilor profesionale, a avariilor, incendiilor, exploziilor etc., au drept scop păstrarea capacității de muncă a celor care desfășoară activități în medii și condiții specifice sau în locuri de muncă cu surse de accidente.

Normele de protecție a muncii sînt republicane și departamentale și au caracter de lege. În România, reglementările de protecție a muncii sînt cuprinse în Legea nr. 5/1965 și Ordinul comun nr. 34/20.02.1975 al Ministerului Muncii și nr. 60/20.02.1975 al Ministerului Sănătății (v. anexă).

În normele republicane de protecție a muncii, elaborate de Ministerul Muncii și Ministerul Sănătății, sînt prevăzute reglementări pentru proiectarea, construirea și organizarea întreprinderilor industriale, precum și pentru asigurarea condițiilor de desfășurare a activităților productive și auxiliare din întreprinderile industriale și celelalte unități economice într-un cadru de deplină securitate și protecție a muncii. Normele departamentale cuprind, în mod detaliat, măsuri de protecție a muncii pentru specificul fiecărui domeniu de activitate, sector, secție și loc de muncă.

În documentația tehnică și tehnologică de execuție și exploatare, elaborată la proiectarea unităților economice, utilajelor, instalațiilor și tehnologiilor, de asemenea se prevăd în mod expres normele specifice de protecție a muncii.

Însușirea și respectarea normelor de protecție a muncii sînt obligatorii pentru toți cei care desfășoară sau coordonează activități în locuri de muncă cu surse de accidente. Transmiterea cunoștințelor se face prin instructajul general și instructajul la locul de muncă, precum și prin instructajul periodic. De asemenea, instructajul de protecție a muncii se face cînd se schimbă condițiile și locul de muncă sau ori de cîte ori se constată nerespectarea acestor norme și se consemnează în fișa personală de protecție a muncii, de către șeful direct, sub semnătura celui instruit. Nerespectarea normelor de protecție a muncii de către fiecare în parte și de către întreg colectivul de oameni ai muncii,

Scanned with OKEN Scanner

precum și neasigurarea, de către coordonatorul activității, a condițiilor de desfășurare a procesului muncii în depline condiții de securitate a muncii, se sancționează prin lege.

11.2. PREVEDERI PENTRU ELABORAREA ȘARJEI ȘI TURNAREA ÎN LINGOTIERE

În spațiile destinate acestor procese de producție, sursele de accidente sînt obiectele voluminoase grele deplasate la sol și la înălțime, căile de acces aglomerate cu semifabricate, formele și ramele stivuite, piesele calde și metalul topit, materiile în suspensie în exces (praful) și gazele. În aceste condiții de lucru sînt necesare următoarele măsuri:

— în spațiul destinat preîncălzitoarelor de cocs și buncărelor de aglomerate calde se va folosi, în mod obligatoriu, masca de gaze cu cartuș filtrant, împotriva oxidului de carbon;

— la încărcarea cuptoarelor (în care se mai află metal topit după golire, pentru amorsarea șarjei următoare) cu materiale solide sau lichide este necesară uscarea materialelor solide, spațiul din zona ușii de încărcare să fie liber și circulația personalului interzisă în această zonă, deplasarea oalei de încărcare cu metal topit să se facă în depline condiții de securitate;

— în vederea evacuării din cuptor a șarjei topite, jghiaburile de scurgere se curăță foarte bine de metal solidificat, amestec de formare și, mai cu seamă, de apă; oalele pentru turnare trebuie complet uscate înainte de umplere, pentru evitarea împroșcărilor cu topitură și a exploziilor;

— perforarea (spargerea) dopurilor de evacuare a produselor topite din cuptor se face cu unelte metalice uscate și preîncălzite, curățite de lipituri;

— în vederea evacuării din cuptor a matei (în metalurgia cuprului) se pune în funcțiune ventilatorul hotei locale de absorbție, pentru evacuarea forțată a gazelor, în timpul căreia, în mod obligatoriu, muncitorii vor purta masca de gaze cu cartuș filtrant pentru SO_2;

— transportarea oalelor cu zgură topită se face numai după ce se formează o crustă la suprafață;

— spargerea zgurii trebuie făcută în locuri special amenajate, prevăzute cu paravane pentru protecție;

— înainte de turnare, lingotierele trebuie să fie bine curățite și uscate;

— la turnarea topiturii metalice în lingotiere, turnătorii sînt obligați să poarte echipamentul de protecție adecvat, indicat în normative; de asemenea, lingotierele calde și lingourile trebuie stropite cu apă numai de la distanță, pentru evitarea arsurilor provocate de vaporii de apă.

În cazul nerespectării normelor de protecție a muncii, în spațiile de topire și turnare se pot produce grave accidente de muncă, dintre care: accidente mecanice provocate de căderea sau răsturnarea pieselor grele, arsuri, explozii, predispoziție la silicoză și intoxicări cu gaze și vapori de CO, SO_2, As, Pb etc.

Scanned with OKEN Scanner

11.3. PREVEDERI PENTRU FORMARE ȘI TURNAREA ÎN FORME

La stabilirea normelor de protecție a muncii pentru spațiile de formare și de turnare a metalului topit în forme trebuie să se țină seama de specificul întregului ansamblu și al fiecărui atelier și loc de muncă, de existența metalului topit și a pieselor calde și grele, de transportul acestora integrat în fluxul tehnologic general, de combustibilul și sursa de alimentare cu forță, de utilajele și instalațiile din dotarea secțiilor, precum și de activitățile specifice procesului de producție, Astfel:

— utilajele și instalațiile (cuptoarele de uscat, mașinile și instalațiile de măcinat și sortat, de ridicat și transportat etc.), specifice spațiilor de preparare și depozitelor de materii prime și auxiliare, reprezintă cauza principală de accidente grave (mai ales că în acest loc de muncă lucrează muncitori cu slabă calificare), fapt pentru care aceste utilaje și instalații trebuie să fie prevăzute cu paravane de protecție ale organelor în mișcare, indicatoare vizuale de prevenire a pericolului de electrocutare, căi de acces vizibil marcate, mînă curentă pentru coborîrea pe trepte etc.;

— în depozitele de nisipuri și lianți uscați, precum și la instalațiile de preparare și sortare, există pericolul apariției silicozei, pentru care trebuie asigurată o ventilație continuă prin care să fie eliminate particulele fine din spațiul de lucru. Ventilația este obligatorie și în cazul în care lianții, folosiți la prepararea amestecurilor de formare, degajă gaze sau vapori nocivi;

— o atenție deosebită trebuie acordată activității la mașinile de formare și la grătarele pentru dezbaterea formelor turnate, unde mecanismele în mișcare pot accidenta pe cei care deservesc aceste utilaje sau din apropiere;

— transportul oalei de turnare și turnarea metalului topit în forme impun, din partea celor care conduc aceste operații, asigurarea respectării prevederilor specifice acestor locuri de muncă, referitoare la tehnica securității muncii. În caz de nerespectare riguroasă a acestor indicații, metalul lichid poate produce grave accidentări;

— o deosebită supraveghere trebuie acordată cuptoarelor cu flacără pentru elaborarea șarjelor de metal topit, dar mai ales cuptoarelor verticale pentru uscarea formelor și miezurilor, privind aprinderea și stingerea focului și, în special, privind supravegherea alimentării cu combustibil. Prin respectarea acestor măsuri, prevăzute în mod expres în reglementările în vigoare de protecție a muncii, materializate prin indicații afișate vizibil, dar mai cu seamă prin instruirea periodică și riguroasă a celor care au autorizație pentru aprinderea, supravegherea și stingerea focului, pot fi evitate grave accidente colective.

11.4. PREVEDERI PENTRU PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ LA CALD A MATERIALELOR METALICE

Procesul tehnologic, specific secțiilor de prelucrare prin deformare plastică la cald, se realizează cu utilaje grele și materiale metalice în stare incandescentă. Încălzirea în cuptoare, transportul, manevrarea pieselor în stare caldă și prelucrarea acestora pe utilaje puternice, reprezintă un ansamblu cu deosebite condiții de lucru, pentru care sînt necesare o serie de măsuri de protecție și de prevenire a accidentelor, precum și pentru evitarea incendiilor și avariilor de utilaje. Astfel:

Scanned with OKEN Scanner

— amplasarea cuptoarelor pentru încălzirea pieselor trebuie să îndeplinească următoarele condiții: să fie aproape de utilaj; ușa cuptorului să nu fie orientată spre un utilaj sau loc de muncă; deplasarea piesei încălzite, de la cuptor la utilajul de prelucrare, să se facă în cadrul fluxului tehnologic general, fără traversarea căilor de acces;

— muncitorii care manipulează și transportă piesele calde trebuie să folosească echipamentul de protecție și ajutător, specific activității pe care o desfășoară;

— funcție de volumul producției, pe baza unor motivații tehnico-economice, trebuie mecanizat transportul și manipularea pieselor grele în stare caldă, pentru ușurarea muncii, evitarea gradului ridicat de oboseală și accidentelor.

La utilajele de prelucrare prin deformare plastică la cald, organele de lucru au mișcări specifice care, în majoritatea cazurilor, sînt semiautomatizate. Manevrarea semifabricatului în procesul de prelucrare poate fi automatizată, fapt pentru care deservirea acestor utilaje presupune, în primul rînd, o cunoaștere în detaliu a modului de funcționare și exploatare. Astfel:

— fiecare utilaj poate fi pus în funcțiune și folosit în procesul de fabricație, numai după verificarea atentă a stării de funcționare;

— comanda de începere a lucrului trebuie dată de o singură persoană, care este obligată să se asigure că sînt îndeplinite condițiile de lucru (semifabricat introdus corect, nu sînt unelte ajutătoare în spațiul de lucru, nu se desfășoară nici o activitate de către alți muncitori în apropiere etc.);

— alimentarea utilajelor trebuie să se facă numai cu semifabricate de dimensiuni, calitate și temperatură de forjare corespunzătoare procesului tehnologic, utilajului și regimului de lucru;

— la constatarea funcționării necorespunzătoare a utilajului se va comanda imediat oprirea acestuia;

— comanda utilajului și supravegherea procesului tehnologic de prelucrare se va face numai din locul stabilit pentru operator, iar acesta să fie protejat în cazul unor desprinderi de piese sau deplasări ale frontului de căldură sau gazelor nocive în spațiul de lucru;

— amplasarea utilajelor și instalațiilor în secțiile de deformare plastică la cald trebuie să asigure o desfășurare nestingherită a mișcărilor efectuate de personalul de deservire, o circulație minimă a semifabricatelor și pieselor prelucrate, pentru diminuarea oboselii și, în consecință, a pericolului de accidentare;

— utilajele de deformare plastică trebuie să fie prevăzute din construcție cu instalații de protecție, montate la locul de muncă și utilizate fără derogări;

— mecanizarea și automatizarea mișcărilor necesare efectuării operațiilor de prelucrare prezintă o importantă măsură de protecție a muncii. Acestea trebuie să asigure, în primul rînd, eliberarea forței de muncă de solicitări fizice excesive și periculoase, mai cu seamă la prelucrarea prin deformare plastică pe laminoare, prese și ciocane mari de forjare liberă și în matriță, calibrare prin tragere a pieselor lungi și grele etc.;

— o deosebită importanță trebuie acordată mediului de lucru în secțiile de deformare, avînd în vedere temperatura ridicată, emanațiile de gaze, particulele în suspensie, fumul etc.

Scanned with OKEN Scanner

11.5. PREVEDERI PENTRU ASAMBLAREA PRIN SUDARE

Datorită condițiilor în care se realizează lucrările de sudare (intensitatea luminoasă și termică a arcului și flăcării, temperatura picăturii și băii de metal topit, alimentarea de la rețeaua de forță, atmosfera saturată de gaze și particule în suspensie, poziția incomodă sau la înălțime a sudorului, mecanizarea proceselor de sudare, manipularea pieselor grele și voluminoase în apropierea sau deasupra locului de muncă etc.) trebuie luate măsuri eficiente pentru prevenirea accidentelor. Astfel:

— pot executa lucrări de sudare numai persoanele care au împlinit vîrsta de 18 ani, care cunosc temeinic instalațiile, aparatura și procedeele de lucru și care au fost instruite din punct de vedere al protecției muncii conform normelor de protecția muncii în industria construcțiilor de mașini, ediția 1979, articolele 1500—1834;

— asigurarea, de către coordonatorii proceselor de producție, a echipamentelor de lucru și de protecție necesare, prevăzute în normative, funcție de procedeul de sudare aplicat și de condițiile de lucru;

— pentru fiecare loc de muncă trebuie asigurată o suprafață utilă de lucru (în afara suprafețelor ocupate de utilaje), iar încăperile cu înălțimea de cel puțin 3 m, trebuie să fie bine aerisite prin ventilație naturală sau artificială;

— amplasarea secțiilor de sudare nu este permisă în subsolurile clădirilor sau în subteran;

— pentru operațiile de sudare în locuri de muncă deosebit de periculoase (asfixiere, intoxicare sau cădere de la înălțime), începerea lucrului este permisă numai după obținerea aprobării scrise, emisă de conducătorul atelierului, șantierului etc. și după ce s-a verificat, prin probe, atmosfera din spațiul respectiv. Măsurile de protecția muncii vor fi specificate detaliat în aprobarea scrisă pe care o primește coordonatorul locului de muncă în care se execută operația de sudare;

— în afara măsurilor generale de protecția muncii prevăzute mai sus, fiecare întreprindere sau unitate productivă care efectuează lucrări de sudare trebuie să întocmească instrucțiuni detaliate privind protecția muncii, funcție de procesul tehnologic și utilajele specifice folosite.

11.6. PREVEDERI PENTRU PRELUCRAREA PRIN AȘCHIERE

În spațiile de lucru ale atelierelor mecanice, condițiile în care se desfășoară prelucrările prin așchiere au caracter distinct: utilaje alimentate de la rețeaua de forță, organe de mașini și mecanisme în mișcare, așchii fierbinți desprinse și proiectate cu viteze mari, sarcini transportate de podurile rulante peste utilaje și locuri de muncă, aglomerări de semifabricate și produse finite, piese agabaritice etc.

Măsurile specifice de prevenire a accidentelor pot fi grupate astfel:

În primul rînd muncitorul trebuie să fie în perfectă stare psiho-fiziologică (odihnit, fără preocupări în afara celor referitoare la obiectul muncii și operația tehnologică), cu verificarea medicală periodică, cu reflexe bune etc. În unele cazuri sînt frecvente accidentele după zilele de odihnă, salariu sau sărbători. Mai rar din cauza pierderii cunoștinței pe fondul unei boli cronice (ulcer perforat, cardiopatie etc.).

Scanned with OKEN Scanner

Materialele de uzură și protecție (salopetă completă sau combinezoane, caschetă sau șapcă, ochelari de protecție, încălțăminte) trebuie să fie în bună stare, adecvate și ajustate pe corp, fără proeminențe. In caz contrar, spre exemplu, șnurul bluzei de salopetă poate fi înfășurat pe organele mașini în rotație.

Părul lung trebuie strîns sub caschetă sau, la femei, legat cu basma la spate, astfel ca să nu fie antrenat de universalul strungului, axul mașinii de găurit sau mașinii de frezat în mișcare etc.

Un examen oftalmologic periodic poate preveni accidentări, mai ales pentru miopi, la apropierea de organe în mișcare.

Mașina-unealtă, utilajul sau instalația de prelucrare lucrează sub tensiune, fapt pentru care acestea trebuie să fie legate la pămînt (împămîntare) conform normelor, pentru evitarea electrocutării.

Organele în mișcare și mecanismele de transmisie trebuie să fie dotate cu apărătoare de protecție și limitatoare de cursă. La locul desprinderii așchiilor să existe ecrane de protecție sigure, utile și ușor de manevrat.

Spațiul util de lucru să fie degajat de deșeuri (așchii, căzături etc.), iar semifabricatele și piesele finite să fie depozitate separat, în siguranță și la îndemîna operatorului.

În poziția de lucru, pe planșeu, să fie un podium (grătar) potrivit taliei operatorului și condițiilor de izolare termică și higroscopică.

O grijă deosebită trebuie avută pentru eliminarea resturilor (coji de fructe, ulei, apă așchii etc.) de pe suprafața locului de lucru și a căilor de acces.

Între utilaje și între acestea și perete sau calea de acces este obligatorie respectarea distanțelor reglementare. Căile de acces să fie degajate și marcate distinct.

Pentru spațiile tehnologice cu poduri rulante, este obligatorie avertizarea sonoră sau optică în cazul deplasării sub sarcină sau manevrării cîrligului macaralei în spațiul util.

11.7. PREVEDERI PENTRU PRELUCRĂRI NECONVENȚIONALE PRIN EROZIUNE CU ENERGII CONCENTRATE

Principiul de funcționare al mașinilor de prelucrat prin eroziune cu energii concentrate, impune măsuri de protecție a muncii specifice. Sursele care pot duce la accidente de muncă, în timpul exploatării acestor utilaje, pot fi: tensiunile ridicate la care se lucrează, fiind posibilă electrocutarea; posibilitatea formării unor amestecuri explozive între gazele care se degajă în procesul de prelucrare și aerul înconjurător; aprinderea dielectricului la prelucrarea prin electroeroziune; radiațiile emanate; particulele abrazive împroșcate; acțiunea nocivă a substanțelor active, la eroziunea chimică; forma și starea necorespunzătoare a grătarelor de lemn și covoarelor de cauciuc din jurul mașinilor.

În vederea prevenirii electrocutării este interzis operatorului să atingă, cu mîna sau alt obiect, electrozii-sculă aflați în baia cu dielectric sau orice alte elemente componente sub tensiune ridicată.

Pentru evitarea împroșcării cu stropi și particule, piesele care se prelucrează electroeroziv sau electrochimic trebuie să fie permanent aco-

Scanned with OKEN Scanner

perite de lichidul activ, pe baza unui reglaj al nivelului funcție de temperatură (la nivel minim) și prin reducerea debitului (la depășirea nivelului).

De regulă, pentru evitarea accidentelor sus-menționate, spațiul de lucru este închis cu ecrane rabatabile de protecție care întrerup circuitul electric atunci cînd sînt deschise. De asemenea, circuitele de comandă sînt alimentate cu tensiune joasă de 25 . . . 50 V.

Pentru asigurarea unui mediu de lucru corespunzător, fără nocivități, este necesar ca aceste utilaje să fie montate în încăperi dotate cu instalații de ventilație, rețele de alimentare de siguranță pentru gaze, lichide active, apă de răcire etc.

Ținînd cont de complexitatea acestor utilaje, este necesar ca intervențiile, în cazul unor defecțiuni, să se facă numai de către specialiști.

11.8. PREVEDERI PENTRU FABRICAREA PRODUSELOR PRIN SINTERIZARE

În instalațiile de sinterizare sau în afara acestora, unde se folosește hidrogenul pur sau în amestec cu azot (provenit din disocierea amoniacului) și gazul metan ars parțial, poate exista pericolul de explozie.

Pentru evitarea accidentelor, cuptorul trebuie să fie dimensionat corespunzător și etanș, iar la ușa acestuia să ardă o flacără de veghe alimentată prin conductă separată.

Înainte de alimentarea cu gaz pentru realizarea mediului de sinterizare, cuptorul se spală (se purjează) cu azot. De asemenea, nu se permite intrarea aerului direct în recipientul în care se află gaz exploziv. Rezervoarelor de gaze lichefiate li se vor asigura cu strictețe măsurile de protecție specifice (ex. amplasarea în spații separate de cele destinate operației de sinterizare).

Muncitorii care manipulează, distribuie sau lucrează cu gaze, trebuie să fie instruiți periodic, să aibe în dotare echipament de protecție corespunzător și mască de gaze cu filtru adecvat. Ventilația permanentă a halelor este obligatorie.

11.9. PROTECȚIA MEDIULUI ÎNCONJURĂTOR

Protecția muncii și a mediului înconjurător au devenit probleme de o deosebită importanță în statul nostru. Activitatea de protecție a muncii și a mediului înconjurător face parte dîn planul unic de dezvoltare și se desfășoară organizat, pentru prevenirea și luarea măsurilor tehnice de respectare a normelor stabilite, pentru întreg teritoriul țării.

S-au organizat colective de specialiști care îndrumă și controlează respectarea acestor norme, menite să asigure condiții de muncă normale și prevenirea îmbolnăvirilor profesionale sau afectarea mediului înconjurător. Măsura de asigurare a unui microclimat corespunzător de muncă permite obținerea productivității maxime, cu eforturi energetice minime și cu o purificare optimă a atmosferei în care se lucrează.

Printre măsurile de asigurare a unui microclimat corespunzător de muncă, se menționează următoarele: modificarea proceselor tehnologice, filtrarea prafului, ecrane de protecție, limitarea surselor de zgomot și vibrații etc.

Scanned with OKEN Scanner

Normele stabilite pe cale legislativă sînt obligatorii pentru toate unităţile economice şi instituţiile de învăţămînt, cu obligativitatea cunoaşterii acestora prin instructaj la locul de muncă. Pentru păstrarea climatului natural al mediului înconjurător unităţile economice au obligaţia să ia măsurile tehnice şi să-şi execute amenajări, care să le permită respectarea cantităţilor maxime de substanţe toxice pe care le elimină în atmosferă, sol sau apă.

Respectarea indicatorilor condiţiilor de muncă şi mediu asigură condiţii normale de desfăşurare a activităţii oamenilor muncii în producţie şi concepţie.

Principalele normative care reglementează condiţiile tehnico-organizatorice pentru protecţia muncii sînt următoarele:

— norme de igienă a muncii în construcţii şi încăperi;

— norme privind cercetarea, proiectarea şi fabricarea utilajelor, maşinilor şi instalaţiilor, precum şi introducerea de noi procese tehnologice;

— norme privind obligativitatea ca toate proiectele să conţină regulile de protecţia muncii;

— lista echipamentului de protecţie şi de lucru cu care urmează să fie dotat personalul;

— măsurile de protecţia muncii suplimentare la încercarea prototipurilor;

— condiţii de amplasare şi funcţionare a elementelor de comandă;

— aparate de protecţie pentru mîini, ochi, faţă etc.

— norme de protecţia muncii pentru instalaţii mecanice sub presiune;

— norme de protecţia muncii pentru unelte şi instrumente de mînă;

— norme de protecţia muncii pentru instalaţii şi echipamente electrice.

Valorile maxime admise de curenţii consideraţi nepericuloşi pentru un timp mai mare de 3 secunde şi ale rezistenţei corpului omenesc *Rh*, pentru dimensionarea instalaţiilor de protecţie sînt următoarele:

— cazul electrocutării prin atingere directă 10 mA în curent alternativ, 50 mA în curent continuu, la rezistenţa corpului omenesc *Rh* de 1000 ohmi;

— cazul protecţiei contra electrocutării prin atingere indirectă 10 mA în curent alternativ şi 50 mA în curent continuu, cu rezistenţa corpului omenesc *Rh* de 3000 ohmi.

Microclimatul, ventilaţia, încălzirea şi răcirea se condiţionează astfel:

— se stabilesc temperatura, umiditatea şi viteza curenţilor de aer în zonele de muncă din încăperile de lucru. Temperatura trebuie să fie între 13 . . . 19°C, umiditatea relativă 80%, viteza aerului 0,3—0,6 m/s în funcţie de caracterul încăperilor. Îmbunătăţiri ale climatului din acest punct de vedere se pot aduce prin ecrane de protecţie pentru evitarea curenţilor de aer.

Prevenirea îmbolnăvirilor profesionale şi accidentale de muncă, provocate de gaze, vapori şi pulberi, este posibilă, cu respectarea normelor care indică concentraţiile maxime în atmosferă a acestor substanţe.

Printre măsurile cele mai eficace pentru aceste nocivităţi menţionăm:

— izolarea încăperilor în care se degajă substanţe toxice;

— ventilarea puternică a acestora, sisteme de filtrare, protecţia prin ecrane etc.

Scanned with OKEN Scanner

Condiţiile pentru asigurarea unui iluminat corespunzător sînt arătate în normative şi pentru locurile de muncă intensitatea variază între 25 . . . 3 000 lx.

Limita maximă admisă pentru zgomot la locurile de muncă care necesită o solicitare redusă a atenţiei este de 90 db, în locurile cu solicitare medie 80 db, la solicitare maximă 75 db şi la solicitare deosebită 60 db.

Pentru evitarea surselor de vibraţii şi zgomote la maşini în procese tehnologice se iau următoarele măsuri:

— proiectarea maşinilor-unelte şi modificări constructive ale acestora, pentru o rigiditate dinamică care să evite sursele de vibraţii;

— corelarea vitezelor de lucru cu zgomotul determinat de organele active ale maşinilor datorită acestor viteze;

— modificări constructive ale rotoarelor ventilatoarelor;

— acoperirea suprafeţelor exterioare care radiază vibraţii cu materiale absorbante;

— modificări tehnologice;

— zone de protecţie vegetale împotriva zgomotelor;

— izolarea acustică prin ecrane din sticlă sau stiplex, care atenuează undele directe;

— izolarea acustică prin carcasare, îmbunătăţirea gradului de etanşeitate, între care creşterea masei pe unitatea de suprafaţă a pereţilor, structuri compuse (sandvisi);

— izolarea contra vibraţiilor produse de fundaţii.

Obligaţiile întreprinderilor de a purifica apele industriale înainte de a le deversa sînt stabilite prin Decretul Consiliului de Stat nr. 414/1979.

Deşi în România mediul natural ambiant nu este decît foarte puţin poluat, organele supreme ale statului, au luat o serie de măsuri economice, tehnice, ştiinţifice şi legislative pentru a preveni degradarea mediului natural. Printre acestea amintim următoarele:

— purificarea gazelor reziduale şi a apelor uzate;

— folosirea raţională a resurselor naturale, valorificarea lor eficientă, refacerea şi dezvoltarea celor regenerabile;

— adoptarea unor tehnologii nepoluante şi echiparea proceselor de producţie generatoare de poluanţi cu instalaţii speciale;

— valorificarea substanţelor utile existente în produsele secundare şi neutralizarea efectelor negative ale reziduurilor nerecuperabile.

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. Barnea, M., Papadopol, C., *Poluarea și protecția mediului.* București, Editura Științifică și Enciclopedică, 1975.
2. Brabie, V. ș.a., *Tehnologia elaborării și turnării oțelului.* București, Editura Didactică și Pedagogică, 1979.
3. Breazu, M. ș.a., *Îndrumătorul sudorului.* București, Editura Tehnică, 1975.
4. Breștin, A., *Tehnologia materialelor.* Litografia Institutului Politehnic Timișoara, 1979.
5. Coman, S., Chioreanu, D., *Tehnologia materialelor și mașini-unelte.* Litografia Institutului Politehnic Cluj-Napoca, 1978.
6. Colan, H. ș.a., *Studiul metalelor.* București, Editura Didactică și Pedagogică, 1983.
7. Dieter, G. E., *Metalurgie mecanică.* București, Editura Tehnică, 1970.
8. Domșa, A., Domșa, Ș., *Materiale metalice în construcția de mașini și instalații,* vol. I și II. Cluj-Napoca, Editura Dacia, 1981.
9. Domșa, A., Nicolae, V., *Tehnologia prelucrării prin așchiere și mașini-unelte.* București, Editura Didactică și Pedagogică, 1964.
10. Domșa, A., Pálfalvi, A., Nicolae, V. ș.a., *Tehnologia fabricării pieselor din pulberi metalice.* București, Editura Tehnică, 1966.
11. Drăgan, I., *Tehnologia deformărilor plastice.* București, Editura Didactică și Pedagogică, 1966.
12. Echim, I. ș.a., *Tehnologii de sudare prin topire a oțelurilor.* București, Editura Tehnică, 1974.
13. Floriganță, G., *Tehnologia materialelor și mașini-unelte.* Litografia Universității din Craiova, 1973.
14. Gâdea, S., Petrescu, M., *Metalurgie fizică și studiul metalelor.* București, Editura Didactică și Pedagogică, p. I. 1979, p. II. 1981.
15. Geru, N., *Metalurgie fizică.* București, Editura Didactică și Pedagogică, 1981.
16. Geru, N., *Teoria structurală a proprietăților metalelor.* București, Editura Didactică și Pedagogică, 1980.
17. Golumba, M., *Tehnologia materialelor.* Litografia Institutului Politehnic Timișoara, 1981.
18. Iliescu, C., *Tehnologia ștanțării și matrițării la rece.* București, Editura Didactică și Pedagogică, 1976.
19. Ivan, M. ș.a., *Mașini-unelte și control dimensional.* București, Editura Didactică și Pedagogică, 1980.
20. Lăzărescu, I., Ștețiu, G., *Proiectarea ștanțelor și matrițelor.* București, Editura Didactică și Pedagogică, 1973.
21. Matei, G., Orban, R., *Mașini-unelte și control dimensional.* Litografia Institutului Politehnic Cluj-Napoca, 1972.
22. Mehedințeanu, M., *Tehnologia materialelor și mașini-unelte.* Litografia Institutului Politehnic București, 1971.
23. Mehedințeanu, M., *Exploitation des ateliers,* I-ère et II-ème partié, Université Nationale du Zaire, Campus de Kinshasa, Faculté Polytechnique, 1977.
24. Mehedințeanu, M., Hollanda, D., Sporea, I., *Tehnologie mecanică și mașini-unelte.* București, Editura Didactică și Pedagogică, 1982.
25. Micloși, V., Săvulescu, M. J., *Tehnologia materialelor,* vol. I și II. Litografia Institutului de Petrol și Gaze Ploiești, 1981.

Scanned with OKEN Scanner

26. Mocanu, D. R. ș.a., *Încercarea materialelor*, vol. I și II. București, Editura Tehnică, 1982.
27. Moga, A., *Materiale noi în construcția de mașini*. București Editura Tehnică, 1964.
28. Moldovan, P. ș.a., *Tehnologii metalurgice*. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1978.
29. Moldovan, V., Maniu, A., *Utilaje pentru deformări plastice*. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1982.
30. Nanu, A., *Tehnologia materialelor*. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1983.
31. Nichici, A., *Tehnologia materialelor*, vol. I și II. Litografia Institutului Politehnic Timișoara, 1979.
32. Nicolae, V., *Tehnologia metalelor*, vol. I și II. Litografia Institutului Politehnic Cluj-Napoca, 1978.
33. Oprescu, I. ș.a., *Utilaje metalurgice*. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1977.
34. Pálfalvi, A., *Curs de tehnologia materialelor*. Litografia Institutului Politehnic Cluj-Napoca, 1971 și 1973.
35. Pumnea, C., Ioniță, N., Șontea, S., *Tehnologii metalurgice și prelucrătoare*. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1979.
36. Romanovski, V. P., *Ștanțarea și matrițarea la rece*. București, Editura Tehnică, 1970.
37. Russu, C. ș.a., *Reciclarea resurselor materiale*. București, Editura Științifică și Enciclopedică, 1984.
38. Sofroni, L., *Elaborarea și turnarea aliajelor. Fonte, oțeluri și aliaje neferoase*. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1975.
39. Stoian, L., Pálfalvi, A., Nicolae, V., Maniu, A., *Tehnologia materialelor*. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1980.
40. Surdeanu, T., Perneș, M., *Piese sinterizate din pulberi metalice*. București, Editura Tehnică, 1984.
41. Șontea, S., *Tehnologia prelucrării metalelor și substanțelor nemetalifere*. Litografia Universității din Craiova, 1974.
42. Ștefănescu, C., Cazacu, I., *Tehnologii de executare a pieselor prin turnare*. București, Editura Tehnică, 1981.
43. Teodorescu, M., Zgură, G., *Tehnologia presării la rece*. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1980.
44. Tripșa, I., Dragomir, I., *Teoria proceselor metalurgice*. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1972.
45. Trușculescu, M., *Studiul metalelor*. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1977.
46. Vacu, S., *Tehnologie generală*. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1968.
47. Vacu, Ș. ș.a., *Metalurgia generală*. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1975.
48. Vasile, I., Cădariu, G., *Tăierea și prelucrarea cu flacără a materialelor metalice*. București, Editura Tehnică, 1978.
49. Voicu, M. ș.a., *Sudare și procedee de sudare*. Îndrumar de laborator. Litografia Institutului Politehnic București, 1979.
50. * * * *Culegere de îndrumări și acte normative privind protecția muncii în activitățile din învățământul gimnazial și liceal*. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1982.
51. Bruins, D. H., *Werkzeuge und Werkzeugmaschinen für die spanende Metallbearbeitung*. München, Carl Hanser Verlag, 1968.
52. Kiparisov, C. C., Libenson, G. A., *Poroșkovaia metallurghia*. Moscova, Izdatelstvo Metallurghia, 1980.
53. Königsberg, F., *Design Principles of Metall Cutting Machine Tools*. Oxford, Pergamon Press, 1964.
54. Lange, K., *Lehrbuch der Umformtechnik*, Berlin, Heidelberg, New York, vol. I. 1972, vol. II. 1974, vol. III, 1975.

Scanned with OKEN Scanner

LISTA PRINCIPALELOR ACTE NORMATIVE REPUBLICANE ȘI DEPARTAMENTALE DE PROTECȚIE A MUNCII

Dispoziții generale

— Constituția Republicii Socialiste România din 21 august 1965, republicată în Buletinul Oficial nr. 167/26 decembrie 1974 (art. 18, 19, 20).
— Legea nr. 5/1965 cu privire la protecția muncii (republicată în Buletinul Oficial nr. 24/24 februarie 1969).
— Legea nr. 10/1972 (Codul Muncii al Republicii Socialiste România) (art. 7, 12, 19, 20, 21, 29, 36, 37, 42, 56, 62, 63, 64, 71, 72, 76, 77, 89, 97, 104, 112 ... 128, 133, 138 ... 163, 167, 168, 183).
— H.C.M. nr. 2896/1967, privind declararea, cercetarea și evidența accidentelor de muncă și a bolilor profesionale.
— Instrucțiunile nr. 50/1967 ale Comitetului de Stat pentru Protecția Muncii și Ministerului Sănătății, pentru aplicarea H.C.M. nr. 2896/1967.
— Instrucțiuni pentru examenele medicale periodice obligatorii, pentru personalul expus la nocivități profesionale, aprobate prin Ordinul Ministerului Sănătății nr. 195/1969.
— Instrucțiuni privind efectuarea examenului medical la angajare, aprobate prin Ordinul Ministerului Sănătății nr. 195/1969.
— Decretul nr. 783/1969 privind organizarea și funcționarea Ministerului Muncii, modificat prin Decretul nr. 14/1973 (art. 1, 9, 13, 22).
— Legea nr. 11/1971 cu privire la organizarea și conducerea unităților socialiste de stat (art. 11, 14, 32, 33, 37, 52, 54, 60, 62, 65).
— Legea nr. 2/1971 privind perfecționarea pregătirii profesionale a lucrătorilor din unitățile socialiste (art. 1, 3, 5, 7, 21).
— Legea nr. 15/1972 privind organizarea și funcționarea Consiliului Central de Control Muncitoresc al Activității Economice și Sociale.
— Legea nr. 9/1973 privind protecția mediului înconjurător.
— Decretul nr. 232/1974 privind prevenirea și stingerea incendiilor (republicat în 1978).
— Legea nr. 62/1974 privind invențiile și inovațiile.
— Ordinul nr. 51/1945 din 1977 al Ministerului Muncii și Ministerului Sănătății privind autorizarea funcționării unităților sociale și economice.
— Decretul nr. 297/1977 privind regimul materialelor explozive în economie.
— Norme tehnice elaborate în baza Decretului nr. 297/1977.
— Legea nr. 3/1978 privind asigurarea sănătății populației.
— Legea nr. 6/1978 cu privire la organizarea și funcționarea controlului oamenilor muncii.
— Decretul nr. 84/1979 cu privire la acordarea materialelor igienico-sanitare.
— Legea nr. 9/1980 — Legea investițiilor.

Scanned with OKEN Scanner

Disciplina, contravenții, infracțiuni

— Codul penal al Republicii Socialiste România (art. 178, 184).
— Codul de procedură penală al Republicii Socialiste România (art. 209).
— Legea nr. 32/1968 privind stabilirea și sancționarea contravențiilor (art. 5, 6, 7, 9, 10, 13, 14, 16 ... 20, 23 ... 27, 29 ... 34, 38, 43).
— H.C.M. nr. 2494/1969 pentru stabilirea și sancționarea contravențiilor în domeniul muncii și ocrotiri sociale.
— H.C.M. nr. 2506/1969 privind stabilirea și sancționarea contravențiilor la normele legale de igienă și de prevenire și combatere a bolilor transmisibile (art. 3, 13, 14, 21, 22, 23, 24, 40, 44, 48).
— Legea nr. 1/1970 privind organizarea și disciplina muncii în unitățile socialiste de stat (art. 1, 2, 4, 5, 12, 13 ... 20).
— H.C.M. nr. 2285/1969 privind stabilirea și sancționarea contravențiilor la normele de prevenire și stingere a incendiilor.

Drepturi

— H.C.M. nr. 1149/1968 privind stabilirea criteriilor pentru determinarea locurilor de muncă cu condiții deosebite pentru care se acordă concedii suplimentare de odihnă și a locurilor de muncă pentru care durata concediului suplimentar de odihnă poate depăși 12 zile lucrătoare.
— Legea nr. 9/1971 privind cantinele-restaurant pentru oamenii muncii.
— H.C.M. nr. 1672/1974 privind planificarea, înființarea și raportarea cheltuielilor de protecția muncii.
— H.C.M. nr. 304/1974 privind acordarea, utilizarea și întreținerea echipamentului de protecție și a echipamentului de lucru, precum și acordarea materialelor igienico-sanitare.
— Normativul republican pentru acordarea echipamentului de protecție și a echipamentului de lucru, aprobat prin Ordinul nr. 9 din 21 ianuarie 1972 al Ministerului Muncii.
— Decretul nr. 215/1977 cu privire la încadrarea personalului muncitor în grupele I, II sau III de muncă.

Coli de tipar: 34 Format: 16/70×100.
Bun de tipar: 26 octombrie 1985.
Nr. plan: 9563. Ediția: 1985.

ÎNTREPRINDEREA POLIGRAFICĂ CLUJ
B-dul Lenin Nr. 146
Municipiul Cluj-Napoca
Republica Socialistă România
Comanda Nr. 271

Scanned with OKEN Scanner